

Trabajo Fin de Máster

Máster en Ingeniería Industrial

Análisis del sistema de calidad para la verificación de piezas en un taller de mecanizado

Autor: Juan José Jiménez Roldán

Tutor: Aida Estévez Urra

Dpto. Ingeniería Mecánica y Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería Industrial

Análisis del sistema de calidad para la verificación de piezas en un taller de mecanizado

Autor:

Juan José Jiménez Roldán

Tutora:

Aida Estévez Urra

Profesora colaboradora

Dpto. de Ingeniería Mecánica y Fabricación

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Carrera: Análisis del sistema de calidad para la verificación de piezas en un taller de mecanizado

Autor: Juan José Jiménez Roldán

Tutora: Aída Estévez Urra

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi abuela Carmela

Agradecimientos

Con este texto llega un cambio de etapa en mi vida, el fin de la etapa universitaria y el comienzo de la vida laboral. Llega el momento de aplicar todos los conocimientos adquiridos durante estos años en el trabajo, el momento de recoger los frutos sembrados durante tantos días de estudio. Debido a la importancia de esta situación no quiero perder la oportunidad de agradecer a las personas que han hecho posible que haya llegado hasta aquí.

En primer lugar, a mi tutora Aída Estévez Urra por aceptar rápidamente a ayudarme con el trabajo fin de máster y adaptarse a mi ocupación de prácticas haciéndome el trabajo más fácil.

A la empresa donde he realizado las prácticas y que me ha servido de estudio para este trabajo, sobre todo al personal de taller, porque desde el primer día me acogieron como uno más y me ayudaron a integrarme. Su ayuda me ha permitido desarrollarme como persona y como ingeniero.

A mi compañero de piso durante el máster, Melchor, por hacer la convivencia siempre fácil y por las noches de conversación después de todo el día de clases o trabajo.

A mis padres por estar siempre ahí y porque sin su ayuda emocional y económica no habría llegado hasta aquí. Siempre han proporcionado todos los medios necesarios para hacer esta etapa más fácil para mí teniéndome que centrar únicamente en estudiar.

A mi abuela Carmela que falleció durante la realización de este trabajo por ser la persona que me crió cuando mis padres tenían que trabajar. Sin ella no sería la persona que soy hoy y aunque he intentado devolvérselo cuando ella nos ha necesitado durante estos últimos años no habría años suficientes para lograrlo.

Juan José Jiménez Roldán

Sevilla, 2019

Parte fundamental de la estrategia de cualquier empresa consiste en la implantación de un sistema de calidad que sirva de cimientos para alcanzar el éxito. La función del ingeniero, aparte de lograr las metas de cantidad de producción y de tiempo de entrega, debe ser alcanzar un nivel de calidad en la producción de forma que se satisfagan ampliamente las necesidades del cliente y que haga a la empresa competitiva en el sector en el que se desempeña.

Este trabajo trata sobre mi experiencia durante 6 meses en una empresa dedicada al mecanizado de piezas metálicas. La principal función es desarrollar el sistema de calidad de verificación de piezas implantado en ese momento para, de esta forma, mejorar la calidad de lo producido y aumentar la satisfacción de los clientes.

Para realizar una mejora, en primer lugar, hay que conocer en profundidad las características y el funcionamiento de la empresa, cuales son los productos más fabricados, descubrir posibles errores y posteriormente realizar propuestas de mejora que hagan progresar el sistema de calidad de verificación.

Abstract

A fundamental part of the strategy of any company is the application of a quality system that serves as a basis to achieve success. The function of the engineer, apart from achieving the goals of production and delivery on time, must be achieve a level of quality in production that satisfies the needs of the client and that makes the company competitive in the sector in which it operates.

This work is about my experience during 6 months in a company dedicated to the machining of metal components. The main function is to develop the verification quality system of components cincented at that moment, in this way, improve the quality of what it produces and increase customer satisfaction.

In order to obtain an improvement, first of all, one must know in depth the characteristics and the operation of the company, the most manufactured products, discover possible errors and then make improvement proposals that advance the verification quality system.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
1 Introducción	1
1.1 Estado del arte	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Tareas a desarrollar	3
2 El sistema de calidad de la empresa	5
2.1 Descripción de la empresa	5
2.2 El Sistema de Calidad	10
2.3 Tareas de inspección	11
3 Pieza tipo tuerca	19
3.1 Características	19
3.2 Fabricación	21
3.3 Verificación	22
3.4 Histórico de resultados e incidencias	22
4 Pieza tipo racor	25
4.1 Características	25
4.2 Fabricación	30
4.3 Verificación	31
4.4 Histórico de resultados e incidencias	33
5 Pieza tipo manguito	35
5.1 Características	35
5.2 Fabricación	37
5.3 Verificación	38
5.4 Histórico de resultados e incidencias	38
6 Propuesta de mejora	39
6.1 Análisis vida herramienta	39
6.2 Estudio sobre útiles de medición	44
6.2.1 Pie de Rey	46
6.2.2 Micrómetro	48
6.2.3 Proyector de perfiles	49
6.2.4 Calibres Pasa-No pasa	50
6.2.5 Reloj comparador	51
6.2.6 Durómetro	52
6.2.7 Rugosímetro	52

6.2.8	Brazo tridimensional	53
6.2.9	Bloques patrón	53
6.3	Solución problema cincado	54
6.4	Estudio sobre planes de muestreo	56
7	Conclusiones y recomendaciones	65
8	Bibliografía	69
9	Anexos	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.3.1 Muestreo según tamaño del lote	13
Tabla 6.1.1 Tabla de seguimiento de herramienta	43
Tabla 6.1.2 Ejemplo de seguimiento de una herramienta	43
Tabla 6.2.2 Error permitido de paralelismo/planitud	49
Tabla 6.3 Muestreo de inspección de aceptación para cincado	55
Tabla 6.4.1 Letras código del tamaño de la muestra	60
Tabla 6.4.2 Plan de muestreo según ISO 2859-2	64
Tabla 7.1 Tabla resumen propuesta de calibración de equipos de medición	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.1 Centro de torneado Nakamura-Tome	7
Figura 2.1.2 Centro de mecanizado Leadwell	7
Figura 2.1.3 Máquina de corte por electrolisis	7
Figura 2.1.4 Máquina de taladros	7
Figura 2.1.5 Torno multihusillo Schutte	7
Figura 2.1.6 Rectificadora sin centro Estarta	7
Figura 2.1.7 Máquina de fresado	8
Figura 2.1.8 Curvadora Transfluid	8
Figura 2.1.9 Máquina de electrolisis	8
Figura 2.1.10 Máquina de prensar	8
Figura 2.1.11 Horno de revenido	9
Figura 2.1.12 Torno paralelo	9
Figura 2.1.13 Layout taller de mecanizado	9
Figura 2.1.14 Organigrama de la empresa	10
Figura 2.3.1 Pie de rey	14
Figura 2.3.2 Micrómetro	14
Figura 2.3.3 Tampón pasa/no pasa	14
Figura 2.3.4 Tampón de rosca	14
Figura 2.3.5 Anillo de rosca	15
Figura 2.3.6 Reloj comparador	15
Figura 2.3.7 Brazo de medición	16
Figura 2.3.8 Durómetro	16
Figura 2.3.9 Rugosímetro	16
Figura 2.3.10 Proyector de perfiles	16
Figura 2.3.11 Bloques patrón	16
Figura 3.0.1 Tuerca	19
Figura 3.1.1 Tuerca de engargolar	20
Figura 3.1.2 Tuerca de prensar	20
Figura 3.1.3 Tuerca desplazable	20
Figura 4.0.1 Racor	25
Figura 4.1.1 Racor 90º	25
Figura 4.1.2 Racor 45º	25
Figura 4.1.3 Racor 0º	25
Figura 4.1.4 Rosca BSP	26
Figura 4.1.5 Rosca métrica	26
Figura 4.1.6 Rosca JIC	26
Figura 4.1.7 Rosca JIC II	26
Figura 4.1.8 Rosca NPT	27
Figura 4.1.9 Racor macho recto	28
Figura 4.1.10 Racor macho cónico	28
Figura 4.1.11 Racor hembra	28
Figura 4.1.12 Racor boquilla	28
Figura 4.1.13 Racor brida	29

Figura 4.1.14 Racor O’ring	29
Figura 4.1.15 Racor orientable	29
Figura 4.1.16 Racor espiga lisa	29
Figura 4.1.17 Caña normal	30
Figura 4.1.18 Caña interlock	30
Figura 4.1.19 Caña NPG	30
Figura 4.1.20 Caña martillo	30
Figura 5.0.1 Manguito	35
Figura 5.1.1 Manguito superficie lisa	35
Figura 5.1.2 Manguito superficie con muescas I	35
Figura 5.1.3 Manguito superficie con muescas II	35
Figura 5.1.4 Manguito dientes trapezoidales I	36
Figura 5.1.5 Manguito dientes redondeados	36
Figura 5.1.6 Manguito dientes trapezoidales II	36
Figura 5.1.7 Manguito dientes trapezoidales III	36
Figura 5.1.8 Entrada de manguito I	36
Figura 5.1.9 Entrada de manguito II	36
Figura 5.1.10 Entrada de manguito III	36
Figura 5.1.11 Entrada racor a manguito I	37
Figura 5.1.12 Entrada racor a manguito II	37
Figura 5.1.13 Entrada racor a manguito III	37
Figura 5.1.14 Entrada racor a manguito IV	37
Figura 6.1 Ciclo PDCA	42
Figura 6.4.1 Cambios tipo de inspección	59
Figura 6.4.2 Ejemplo de documento de inspección	61
Figura 6.4.3 Ejemplo de inspección con tabla 9.2	62

1 INTRODUCCIÓN

Este Trabajo Fin de Máster es el resultado de la labor durante los meses de octubre de 2018 y marzo de 2019 en un taller de mecanizado, una empresa sevillana correspondiente al sector metal-mecánico. Durante este tiempo se ha colaborado en la gestión del control de la producción y de la calidad. Toda la información comprendida en este trabajo es por tanto real. Por motivos de confidencialidad, a partir de ahora la empresa será denominada como “taller de mecanizado”.

1.1 Estado del arte

La calidad no es algo que haya surgido recientemente. Es un comportamiento humano que ha acompañado desde el inicio de la Historia. Se puede suponer que, en el Paleolítico, un cazador con mejores herramientas obtenía un mejor resultado cuando cazaba. Por ello, intentaban mejorarlas constantemente. Aunque a esto también se le denomine un sistema de calidad, no es hasta la llegada de la Revolución Industrial, cuando la calidad toma un papel importante en la producción industrial.

En términos generales, la historia y evolución del término de calidad puede dividirse en cinco etapas básicas. A continuación, se repasará cada una de ellas:

- 1) Industrialización: En las épocas de la fabricación artesanal no había graves problemas de calidad ya que existía una relación constante entre el cliente y el fabricante. Con la Revolución Industrial, el trabajo manual es reemplazado por el trabajo mecánico. Desaparece, por tanto, esta relación entre cliente y fabricante, además, el trabajador deja de sentirse propietario y orgulloso del objeto que produce, lo que termina afectando a la calidad de sus producciones.

En la Primera Guerra Mundial, las cadenas de producción adquieren mayor complejidad. Ahora ya no es posible que el operario verifique si cada uno de los objetos producidos tienen las características necesarias porque eso implicaría el paro de la cadena de producción, es por ello que surge el papel del inspector, que era la persona encargada de supervisar la efectividad de las acciones que los operarios realizaban. Es el primer gesto de control de calidad.

- 2) Control estadístico: La segunda etapa se sitúa entre 1930 y 1950. Las empresas ya no sólo dejan ver su interés por la inspección final del producto, sino que comienzan a realizar controles estadísticos. Se hizo hincapié en que los procesos deben ser controlados estadísticamente, de forma que solo existan variaciones ocasionales y así tenerlos bajo control. Estos se vieron favorecidos por los avances tecnológicos de la época. Se pasó, por tanto, de la inspección a un control más global.
- 3) Primeros sistemas: Entre 1950 y 1980, las empresas advierten que con tener un control estadístico de la calidad de sus objetos fabricados no es suficiente. Hace falta descubrir porque

se producen fallos en ellos. Por ello, hay que desglosar los procesos de fabricación en etapas, y tras un estudio de estos detectar donde se están produciendo los errores. En estos años aparecen los primeros sistemas de calidad y las compañías ya no dan tanta importancia a la cantidad de productos obtenidos; ahora el énfasis está en la calidad. Estos primeros pasos en el aseguramiento de la calidad fueron los precursores de los sistemas de certificación actuales, como las normas ISO.

- 4) Estrategias: Entre las décadas de los años 80 y 90, la calidad toma un papel estratégico dentro de la producción. Este es quizá uno de los cambios más significativos que ha tenido el concepto, pues a partir de este momento se introducen los procesos de mejora continua. La calidad, que ahora ya no es función única de los inspectores sino de toda la compañía, busca la implicación de todos los trabajadores, como consecuencia de que empieza a verse como una ventaja competitiva y adquiere otra dimensión. Ahora no basta con que el producto no tenga fallos o errores, es preciso que tenga además calidad de diseño, de forma que actúe tal y como el cliente ha solicitado, es decir, tener propiedades de calidad reales desde el punto de vista del cliente. Esta situación incitó que el enfoque de la calidad no se centrara únicamente en la disminución de defecto y errores en los productos, sino que se extendiera a la comprensión de las necesidades de los clientes, desarrollando relaciones a largo plazo con ellos, formando al personal y diseñando productos y servicios basados en las opiniones de los clientes.
- 5) Calidad total: En las últimas dos décadas hasta la fecha, la diferencia entre producto y servicio desaparece. No hay distinciones entre el artículo y las fases que lo anteceden; todo forma parte de un nuevo pensamiento que entra en escena: la calidad total, es decir, el proceso en su conjunto. Adicionalmente, la figura del cliente toma mayor protagonismo que en la etapa anterior y su relación con el artículo se convierte en el principal hito de calidad.

En el entorno empresarial en el que se desenvuelve “taller de mecanizado”, donde cada vez se demanda más la implantación y certificación de sistemas de aseguramiento de calidad, donde la satisfacción del cliente es uno de los requisitos más importantes a la hora de fabricar y donde se ha unido a la ambición de mejora constante en la empresa de estudio, hace muy importante la existencia de un sistema de calidad eficaz, el cual, sea estudiado periódicamente para intentar llegar a la excelencia.

1.2 Objetivos

El objeto de este proyecto es el estudio y mejora del sistema de calidad llevado a cabo actualmente en la empresa nombrada anteriormente. Sistema de calidad que busca el aseguramiento de la calidad en la producción en esta empresa del sector metalúrgico.

Mediante la maquinaria disponible se es capaz de fabricar una gran variedad de elementos metálicos, como piezas para aeronáutica, componentes para lentes ópticas, elementos automovilísticos etc. Pero si hay un tipo de producto en el que se esté especializado, son los elementos metálicos para las conexiones hidráulicas. Es por ello, que gran parte de la producción son componentes de conexiones, como los manguitos, los racores o las tuercas.

A causa de la gran producción que se acomete de estos 3 tipos de piezas, este texto se va a centrar en el análisis de ellas principalmente. Se va a estudiar la fabricación acorde a cada una donde se observará si se está haciendo de una manera adecuada. A continuación, se va a determinar si la verificación que se les realiza durante todo el proceso de producción es el adecuado haciendo hincapié en que dimensiones son más importantes de verificar, cual debe ser la periodicidad de inspección de las piezas fabricadas y de que forma debe hacerse.

Por otro lado, se examinarán los equipos de verificación que pertenece al taller. Se estudiará si la calibración de los elementos de inspección se está realizando de forma oportuna. Intentando mejorar el estado del equipo de metrología para que esto provoque una mejor calidad de las piezas fabricadas.

Debido a todo esto, el objetivo principal es la mejora del sistema de calidad de la verificación de los productos fabricados por la empresa con el apoyo que da la información del estudio de las 3 piezas analizadas.

1.3 Tareas a desarrollar

En primer lugar, cuando se hace un trabajo de análisis sobre una empresa, hay que conocer como funciona. Hay que conocer cuales son sus productos fabricados, sus principales clientes y cuales son sus procesos productivos. También hay que tener conocimiento de que elementos disponen para fabricar, es decir, que personal hay en la empresa, de que tipo y cantidad de maquinaria disponen, que espacio ocupan etc.

Una vez se conoce la información básica se ha de indagar más sobre el sistema de calidad que funciona actualmente. La mayor parte de este trabajo consta en analizarlo para lograr una mejora de este y, por consiguiente, de la calidad de los productos fabricados. Esto implica tener el conocimiento de que tareas de verificación se están llevando, para ver si son efectivas y si se están realizando de la manera adecuada.

Este trabajo se va a centrar, como ya se ha citado, en estudiar la calidad de la producción de los tres tipos de componentes más fabricados. Por ello, es preciso estudiar en qué consiste cada uno y qué tipos hay. Es necesario saber que especificaciones y particularidades suelen tener estos elementos y realizar propuestas que sirvan como mejora en la calidad de su producción.

La siguiente tarea a desarrollar será indagar en el modo de fabricación de cada uno de ellos, en la normativa que se les aplica, para posteriormente, con una mirada crítica, analizar si existe una mejora posible que provoque beneficios sobre su calidad.

Además, para estudiar el presente y mejorar en el futuro, es importante conocer el pasado para evitar cometer errores que se hayan realizado antes. Hay que conocer el histórico de fallos o incidencias para no volver a caer en la fabricación de las mismas piezas defectuosas.

Para fabricar piezas en unas mejores condiciones, no solo se debe examinar la forma de fabricación de estas, sino que también es conveniente un estudio de los equipos de medición. Hay que discernir si el taller cuenta con el equipo suficiente para desarrollar el trabajo, si estos están en

buen estado, si tanto la calibración como la verificación de estos se esta realizando de la manera y tiempo adecuados. Un equipo de medida en mal estado estaría proporcionando información falsa que puede provocar que la calidad de la producción descienda.

Una vez se ha recogido toda la información detallada anteriormente, se han de realizar las propuestas de mejora. Se van a distinguir dos tipos fundamentalmente. Por un lado, se van a realizar propuestas de mejora en el modo de fabricación y, por otro lado, desde el punto de vista de la verificación. Al analizarse también los equipos de medida, se va a realizar unas recomendaciones tanto para la verificación como para la calibración de estos, para que el equipo de verificación realice medidas reales que repercuta en la calidad de los lotes producidos.

Para concluir, también se podrá realizar alguna recomendación que afecte al funcionamiento del taller en general y que pueda repercutir de forma positiva en la actividad de este.

2 EL SISTEMA DE CALIDAD DE LA EMPRESA

Antes de comenzar a detallar el sistema de calidad llevado a cabo actualmente en la empresa, es preciso comenzar indicando qué es y en que consiste un sistema de calidad de una empresa.

Las palabras *sistema de calidad* parecen de gran importancia, se relacionan con empresa de gran tamaño, pero en realidad, cada empresa, por muy pequeña que sea, necesita de un sistema de calidad. Hasta usted, cuando está cocinando y varía la cantidad de un ingrediente para mejorar la comida respecto a la vez anterior que la cocinó, está implementando un sistema de calidad a pequeña escala.

Para explicar qué es un sistema de calidad vamos a ver como define cada una de sus palabras la R.A.E.

- Sistema: Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente, contribuyen a determinado objeto.
- Calidad: Adecuación de un producto o servicio a las características especificadas.

Esto implica que el sistema de calidad de una empresa es el conjunto de tareas o acciones que se llevan acabo de forma ordenada para contribuir a que el producto de la empresa sea adecuado a las características especificadas.

Para llevarlo acabo, es necesario tener bien definidas cuales son las características específicas del producto para poder reparar donde no se están alcanzando el objetivo. Es importante evaluar todo el proceso para encontrar donde se puede mejorar y entonces actuar. Posteriormente, hay que observar si la actuación ha surgido efecto, fijando parámetros de control. Analizando estos parámetros, se percibirá si la mejora se esta produciendo o no.

2.1 Descripción de la empresa

Durante los 45 años de existencia desde su creación en 1974, la empresa de estudio siempre ha tenido una expansión continua, por lo que se encuentra presente hoy en todos los sectores industriales de ámbito nacional y exporta a varios países del extranjero. Tiene presencia en sectores tan importantes como el aeronáutico, defensa, ferroviario, naval, químico o agroalimentario.

Esta voluntad de crecimiento se materializa en 1996 con la creación de la nueva división de mangueras, que dimensionará el grupo al que pertenece el taller en una mayor capacidad cualitativa, especializándose en la fabricación de conjuntos de mangueras y conexiones para todas aquellas aplicaciones que requieran unos parámetros de utilización especiales.

Para atender todas aquellas necesidades presentes y futuras del mercado, el grupo cuenta con un equipo de profesionales, muy cualificado en las distintas áreas de la empresa, de 80 empleados y una superficie construida de más de 4000 m².

Las mangueras que se almacenan y suministran tanto en caucho, teflon corrugado, acero inoxidable, etc., proceden de los principales fabricantes mundiales, están fabricadas de acuerdo con las normas SAE y DIN más actualizadas, y con procesos de fabricación certificados según las normas de calidad ISO 9001:2000.

Para garantizar los correctos montajes de los conjuntos flexibles que se fabrican, se dispone de las máquinas de prensado, con la capacidad y cualificación técnica necesaria, de los equipos de soldadura TIG homologados y de los bancos de pruebas para presiones estáticas y dinámicas.

Las conexiones suministradas por el grupo son fabricadas por “taller de mecanizado”, donde se ha desempeñado este proyecto. Esta empresa nace dentro del grupo en 1987 a fin de satisfacer las necesidades de productos fabricados del acero, y se ha confirmado con el paso del tiempo, como uno de los principales fabricantes nacionales en el campo del decoletaje industrial.

Las conexiones que se fabrican en máquinas de CNC, comprenden una gama de más de 1400 tipos y tamaños, de acuerdo con los sistemas internacionales SAE, JIC, BSP y DIN. Estas conexiones pueden fabricarse en acero, latón, acero inoxidable, aluminio, bronce y otras aleaciones. La maquinaria con la que se cuenta para fabricar este tipo de componentes en el taller se pueden resumir a continuación:

- 8 centros de torneado de CNC que consta de dos husillos motorizados opuestos y doble torreta. Cada torreta contiene 12 estaciones, por lo que el centro de torneado incluye 24 estaciones de herramientas para mecanizado. Pueden ser alimentadas con barras de hasta 80 mm de diámetro. Pertenecen al fabricante *Nakamura-Tome* (Figura 2.1.1).
- Centro de mecanizado Leadwell® de 3 ejes. Esta máquina, a diferencia de las anteriores, solo incluye un husillo que consta de 12 estaciones para herramientas. (Figura 2.1.2).
- Máquina de corte por electroerosión Ona®. El mecanizado por electroerosión es un proceso destinado a elementos conductores de la electricidad que emplea chispas controladas entre un electrodo que suele ser de grafito (la herramienta de corte) y la pieza. A diferencia de otros tipos de mecanizado, la herramienta no entra en contacto con el material (Figura 2.1.3).
- Máquina de taladros. Para los tres tipos de piezas de estudio se emplea sobre todo para un tipo de tuercas, en concreto las tuercas de engargolar, que precisan de un taladro para realizar el conjunto con el racor. Aparte de esto es utilizada para realizar todo tipo de taladro que necesiten cualquier pieza que sea encargada por los clientes (Figura 2.1.4).
- 7 tornos multihusillos Schütte®, desde 16 hasta 63 mm de diámetro. Permite la entrada de 6 barras de material, como se observa en la figura 2.1.5, para realizar 6 piezas simultáneamente. Este tipo de máquina es capaz de realizar varias operaciones sobre una misma pieza. La principal ventaja de usar tornos multihusillos es la alta velocidad de producción para producciones en serie. La mayor desventaja es el tiempo de preparación de la máquina, que puede estar entorno a 14 horas.



Figura 2.1.1 Centro torneado Nakamura-Tome



Figura 2.1.2 Centro de mecanizado Leadwell



Figura 2.1.3 Máquina corte por electroerosión



Figura 2.1.4 Máquina de taladros



Figura 2.1.5 Torno multihusillo Schutte



Figura 2.1.6 Rectificadora sin centro Estarta

- Rectificadora. Es una máquina que se utiliza para mecanizados de alta precisión y baja rugosidad. Es un mecanizado por abrasión mediante discos abrasivos llamados muelas. Este proceso se realiza después de haber realizado otros mecanizados que han dejado un excedente de material, para que ahora se elimine y se le deje la dimensión precisa (Figura 2.1.6).

- Fresadoras. Son maquinas que constan de una herramienta rotativa llamada fresa que contiene varios filos de corte. Debido al movimiento giratorio que esta adquiere y el movimiento longitudinal que se le proporciona a la pieza realiza el mecanizado sobre el material (Figura 2.1.7).
- Curvadora Transfluid®. Es utilizada fundamentalmente para curvar los racores a 45º y 90º. Se produce mediante un proceso de conformado en frío haciendo pasar el tubo por una matriz que le da la forma definitiva. Debe realizarse con cuidado ya que con el proceso podría deformarse (Figura 2.1.8).



Figura 2.1.7 Máquina de fresado



Figura 2.1.8 Curvadora Transfluid



Figura 2.1.9 Máquina de electrolisis



Figura 2.1.10 Máquina de prensar

- Máquina de electrolisis. La electrolisis es un proceso de separación de elementos con la ayuda de la corriente eléctrica. En este caso se utiliza para eliminar grasa, oxidación o pintura de las piezas. Para ello se sumergen las piezas en un baño durante un tiempo estimado. A continuación, se extraen y se secan, quedando estas limpias (Figura 2.1.9).
- Máquina de prensar. Se utiliza para prensar tuercas junto al racor. Para ello se coloca la tuerca sobre el racor en la máquina y dependiendo de la huella necesaria se le aplica un valor de presión. Hay que destacar que otra línea de producción del grupo es la de máquinas de prensar Finn Power (Figura 2.1.10).

- Horno de revenido de cinta transportadora. En el horno se produce un tratamiento térmico que consiste en subir la temperatura de la pieza y después dejarlo enfriar al aire libre. El propósito de este tratamiento es disminuir la fragilidad, incrementar su ductilidad y tenacidad y aliviar las posibles tensiones surgidas durante el proceso de mecanizado (Figura 2.1.11).
- Varios tornos paralelos. Estos tornos hacen girar la barra de material alrededor del eje y arranca viruta de forma periféricamente (Figura 2.1.12).



Figura 2.1.11 Horno de revenido



Figura 2.1.12 Torno paralelo

Toda esta maquinaria, de la que dispone el taller, se encuentra en una superficie de unos 2500 m² aproximadamente. La disposición de la maquinaria, la zona de almacén de materia, las oficinas, el laboratorio de metrología, la zona de verificación o de carga y descarga, se puede observar en la Figura 2.1.13.

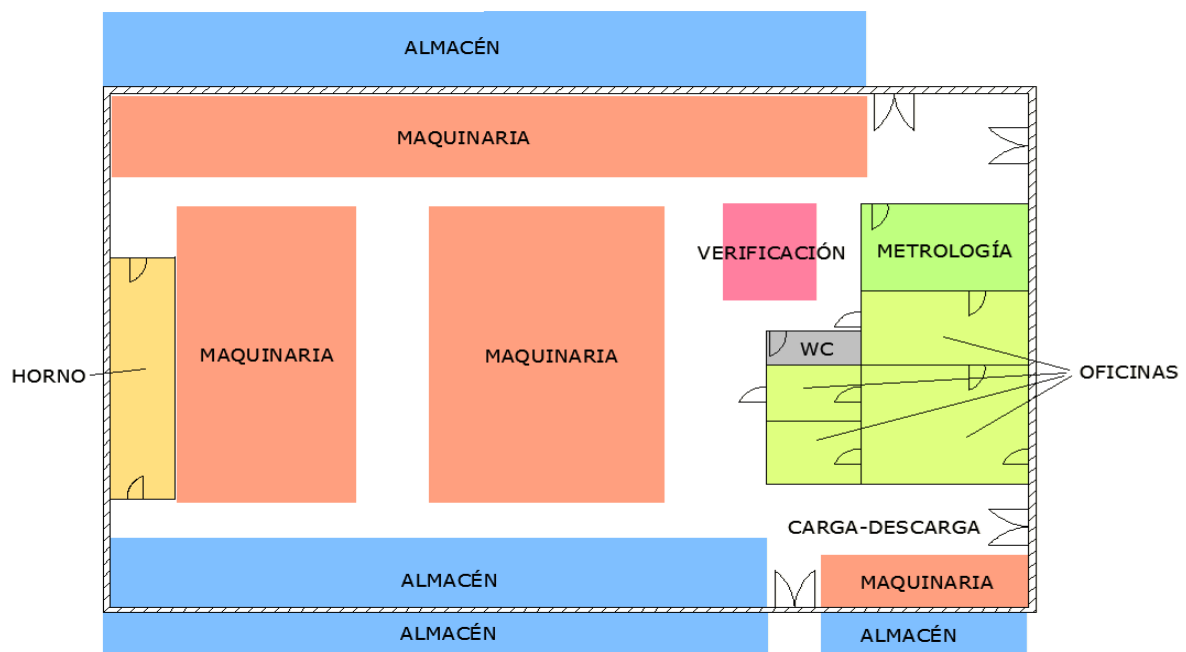


Figura 2.1.13 Layout taller de mecanizado.

Los almacenes que se observan en el layout son de varios tipos. Hay almacén de materia prima, como las barras redondas o hexagonales clasificadas por tamaño, por otro lado, también existen

almacenes de residuos de viruta de cada tipo de material esperando ser recogidos y de materia terminada para ser entregada al cliente.

La zona de verificación, es donde se da el visto bueno a las primeras piezas fabricadas para continuar con la producción. Está estratégicamente colocada cercana a la sala de metrología donde se encuentran todos los útiles necesarios para verificar. Los útiles de los que disponen en el taller se especificarán más adelante.

Anteriormente se ha detallado que el grupo cuenta con 80 trabajadores, pero centrándonos en el taller, que es donde se ha desarrollado este trabajo, desempeñan su labor 30 personas, cuyo organigrama se representa en la Figura 2.1.14.

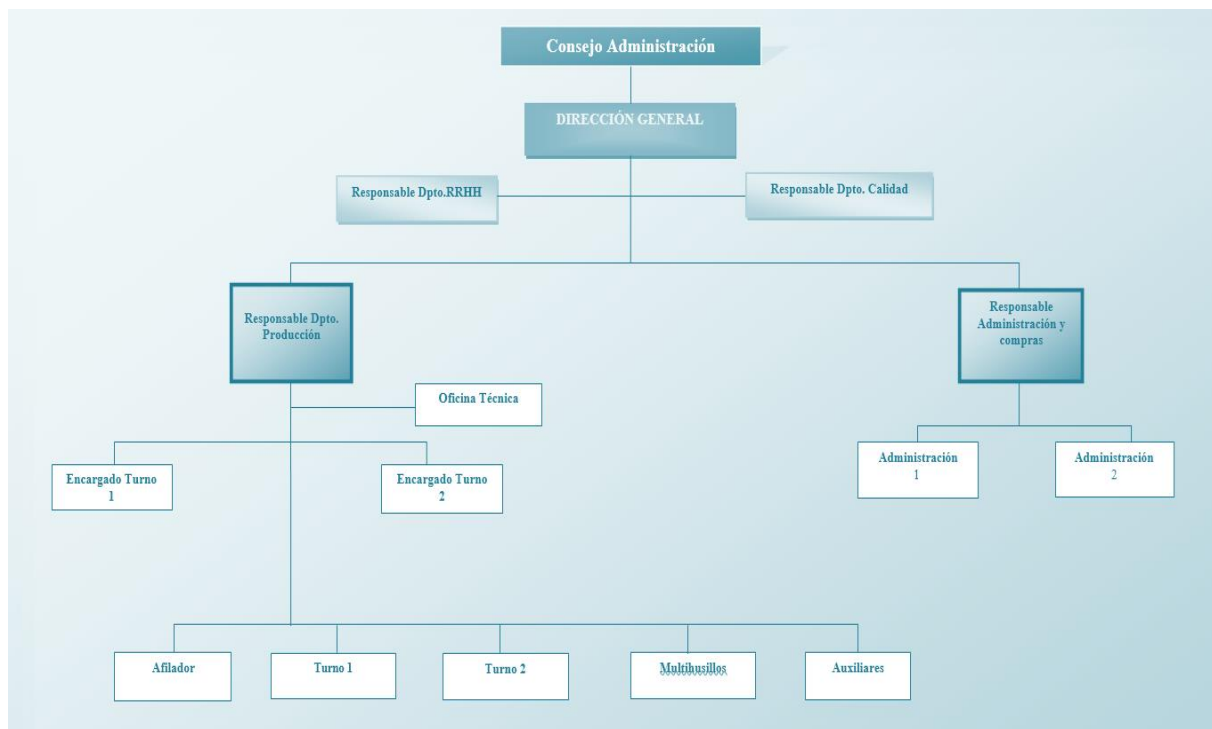


Figura 2.1.14 Organigrama de la empresa.

2.2 El Sistema de calidad

La política de calidad de “taller de mecanizado” supone la orientación de su sistema de gestión y de trabajo hacia la “plena satisfacción del cliente”, entendiéndose por cliente, todo usuario de sus servicios, tanto en el ámbito externo, como en el interno de la empresa.

Los recursos de “taller de mecanizado” deben gestionarse de forma que su aplicación produzca la máxima satisfacción de las expectativas del cliente. Cada integrante del taller debe actuar en su cometido como gestor de estos recursos y orientarlos a este fin.

Las directrices básicas de la política de calidad, que presiden esta actuación, se resumen en los siguientes puntos:

- Los clientes son la razón del trabajo. Se deben conocer sus necesidades y expectativas para poder satisfacerlas.

- Su objetivo permanente es el trabajo bien hecho a la primera.
- La prevención de errores es más importante que controlarlos.
- La mejora de la calidad se consigue de una manera planificada y sistemática. Esto debe realizarse en todas las áreas de “taller de mecanizado”, siempre a través de un buen sistema de comunicación.
- Una actitud de trabajo en equipo, de colaboración, es imprescindible para conseguir los máximos niveles de calidad. No se admite en absoluto una actitud individualista, sin tener en cuenta las necesidades de los demás.
- La responsabilidad de mejorar la calidad es de todos y cada uno de los trabajadores del taller. No es válido esperar que otro los controle para evitar la propia responsabilidad en realizar un trabajo bien hecho.
- El personal debe estar continuamente capacitado y formado, para conseguir siempre la satisfacción del cliente.
- Es imprescindible una comunicación adecuada entre todos para mejorar la calidad de sus servicios.
- Son conscientes de que hay que adquirir un hábito de mejora continua, para conseguir una real y definitiva conciencia de calidad.
- Toda la organización, comenzando por la Dirección General, debe trabajar según estos principios, que situarán a “taller de mecanizado” en un alto nivel permanente de calidad y de servicio al cliente.

Con objeto de efectuar un adecuado seguimiento de la eficacia del sistema de gestión, “taller de mecanizado” establece y analiza periódicamente objetivos de calidad concretos, cuantificables y medibles.

La dirección establece anualmente, y cuando las circunstancias lo requieren, los objetivos de calidad para la Empresa. Asimismo, y en cada reunión con los responsables de departamento que se designen para el establecimiento de objetivos de calidad, se realiza la revisión y análisis de los objetivos del periodo anterior, comprobando su eficacia. De tal forma que se puedan adoptar las medidas correctoras oportunas.

Estos objetivos son aprobados por la dirección y difundidos a los niveles pertinentes de la organización. De tal forma que se garantice su consecución.

2.3 Tareas de inspección

En el control de calidad, las tareas de inspección sirven para verificar y examinar las características de un producto. Todo ello, utilizando elementos de medición o patrones de comparación con el fin de comprobar si cumple con las especificaciones. Es una manera de constatar que el sistema de calidad actúa de manera adecuada.

Normalmente y, sobre todo, en producciones de grandes lotes, la inspección se realiza por muestreo. Solo se utiliza la inspección del 100% de las piezas fabricadas para pequeños lotes o para características críticas.

Según define la R.A.E. se conoce como muestra a “parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permitan considerarla como representativa de él”. El tamaño de la muestra es una de las mayores dificultades cuando se diseña un procedimiento de inspección. Es una elección muy delicada, pues debe ser una alta cantidad de muestras que garantice la calidad del lote, pero a la vez, que parezca insuficiente. La elección va a repercutir en el coste final de la producción, el tiempo de producción y en la disponibilidad de operarios. Durante todo el proceso de fabricación pueden existir varios procesos de inspección.

- Inspección en recepción de materia prima. Se establecen controles en recepción de material acorde con el sistema de evaluación de los proveedores para su seguimiento continuo. De esta forma se establecen los siguientes criterios de recepción.
 - Se realiza una inspección cuantitativa. Es decir, se pesa el material recibido para comprobar si es la cantidad precisada en el pedido.
 - Se realiza una inspección de calidad visual.
 - Se analiza la documentación de calidad que acompaña a los pedidos.

Además de las anteriores inspecciones, también realizará una inspección del embalaje, identificación y documentación que acompaña al producto, autorizando su entrada en almacén en caso de que no existan discrepancias con respecto a los requisitos exigidos por el cliente.

- IPA (inspección del primer artículo). Es un documento de medición y verificación para un proceso de fabricación determinado para evitar mermas o reprocesos en una fase posterior. El método consiste en comparar las propiedades y la geometría de un artículo de muestra inicial con las especificaciones dadas como, por ejemplo, un plano. Las propiedades que se deben verificar son amplias, pudiendo incluir radios, ángulos, distancias entre centros, rugosidades etc. A pesar del nombre, no tiene porque ser necesariamente el primero producido, sino uno de los primeros y, además, no tiene porque ser solo uno, pueden ser varios. En esta empresa de referencia, se realiza la IPA a los 5 primeros artículos producidos.

Dependiendo de la capacidad de inspección, el tipo de producto y la especificación que rige, la inspección del primer artículo puede ser realizada por un segundo proveedor que puede ser un laboratorio de metrología dimensional que utiliza una variedad de herramientas calibradas.

Este método de inspección se realiza cuando el cliente lo solicita. Se le envía los datos obtenidos y si da la conformidad, se realiza la producción.

- Inspección después de preparación de máquina. El operario recibe la documentación necesaria para la preparación de la máquina que va a fabricar la pieza. Este prepara la máquina y fabrica una primera pieza. Esta pieza es verificada por el jefe de taller. Realiza una inspección visual y de medidas para verificar que la pieza fabricada se encuentra en consonancia con la que se ha entregado en la documentación. Si el jefe de taller da el visto bueno, se continúa la fabricación.

Esta verificación se ha de realizar cada vez que se prepara la máquina, aunque ya se haya preparado otro lote de esta pieza en una ocasión anterior.

- Pautas de control de calidad. El operario responsable de la máquina es el responsable de realizar los controles y verificaciones necesarios durante la producción para asegurar la correcta fabricación del lote. Aleatoriamente, el operario realiza verificaciones durante la fabricación para asegurarse de que se está realizando correctamente, sin que sea necesario dejar constancia escrita de los valores obtenidos. Sin embargo, a la conclusión del lote fabricado se realiza la inspección del control de calidad con un número concreto de muestras de las que si hay que dejar constancia. El tamaño de la muestra actualmente se estipula según la tabla 2.3.1.

Tamaño del lote	Muestra	Rechazo
2 a 10	2	1
11 a 20	3	1
21 a 30	4	1
31 a 50	6	1
51 a 100	10	2
101 a 175	12	2
176 a 300	15	2
301 a 500	20	3
501 a 1000	35	3
1001 a 3000	75	5
3001 a 5000	200	8
5001 a 10000	375	10
10001 a 50000	500	15
50.001 a 100000	1500	20
100.001 en adelante	2000	30

Tabla 2.3.1 Muestreo según tamaño del lote

- Inspección tras cincado. El cincado es un tratamiento superficial en el que las piezas se introducen en un baño de zinc para mejorar su resistencia a la corrosión y la oxidación, además de mejorar su aspecto visual. Este tratamiento no se realiza por la empresa y es subcontratado. Cuando la pieza vuelve después del tratamiento, esta ha ganado un espesor de recubrimiento, por lo que, si este es excesivo, las piezas pueden estar fuera de tolerancias. Por ello, se hace un leve muestreo de 5-10 piezas y si estas se encuentran dentro de tolerancia, se da el lote por válido.

Los equipos de medición usados por la empresa para la ejecución de sus trabajos están recogidos en un registro.

- Pie de rey, también conocido como calibre. Es utilizado para medidas exteriores, interiores y de profundidad. Tiene una precisión entre 0,05 y 0,01 mm. Existen tanto calibres digitales como analógicos (Figura 2.3.1).

- **Micrómetro.** Es un aparato de medición basado en un tornillo micrométrico usado para medir dimensiones exteriores. Para ello cuenta con dos puntas que se aproximan o alejan entre sí, mediante el tornillo de rosca donde se encuentra la escala. Es muy utilizado por su alta precisión que puede llegar a 0,01 mm (Figura 2.3.2).
- **Tampón pasa/no pasa.** En algunas ocasiones, el control de las dimensiones no se realiza utilizando equipos de lectura. En este caso, consta de dos cilindros con diferentes tolerancias, uno a cada extremo. Son usados para verificar diámetros internos. Para validar la dimensión, se intentan introducir cada uno de los dos cilindros. Se validan las piezas cuyas dimensiones se encuentran entre ambas tolerancias y son rechazadas las que no cumplen dicha condición. Por tanto, el lado “pasa” debe entrar y el “no pasa” solo apuntar. Se suele identificar con color rojo, el lado “no pasa”. (Figura 2.3.3).
- **Tampón de rosca.** Es utilizado para verificar roscas hembras. Es muy similar al equipo anterior, pero en este caso, en los cilindros se dibuja una trayectoria helicoidal según la rosca que se esté validando. El lado del “pasa” debe roscar completamente, mientras que el “no pasa” debe entrar una vuelta como mucho (Figura 2.3.4).
- **Anillos de rosca.** Es el método más utilizado para medir roscas externas. Consiste en un juego de anillos, uno no pasa y otro pasa. Para verificar se atornillan sobre la rosca externa, el anillo “pasa”, debe entrar sin fuerza, mientras que el “no pasa” como máximo dos hilos. Así se verifica si la rosca está dentro de tolerancia. También existen anillos de rosca para roscas cónicas, concretamente NPT. En este caso se debe roscar y el borde de la rosca debe quedar entre un máximo y un mínimo definido en el anillo (Figura 2.3.5).
- **Reloj comparador.** Es un instrumento de medida que sirve para comparar dimensiones con el desplazamiento de una punta que está en contacto con la pieza. Esto se ve reflejado en un reloj con escala graduada. Es empleado tanto para medir una misma dimensión en dos piezas distintas o para medir la concentricidad de elementos cilíndricos como los racores, haciendo girar estos, alrededor de su eje de revolución y pasando la punta por su superficie (Figura 2.3.6).



Figura 2.3.1 Pie de rey



Figura 2.3.2 Micrómetro



Figura 2.3.3 Tampón pasa/no pasa



Figura 2.3.4 Tampón de rosca



Figura 2.3.5 Anillo de rosca



Figura 2.3.6 Reloj comparador

- Brazo de medición. Es un equipo portátil de control de calidad en 3D. Esta enfocado para ser usado en zonas donde la pieza no puede desplazarse, para dimensiones de difícil acceso con el resto de instrumentos de medida o para medir dimensiones en distintas direcciones o planos. También puede ser usada, aunque no es el caso, para realizar modelos CAD de las piezas fabricadas. El brazo consta de un palpador que es conducido por la superficie de la pieza a analizar y transmite al ordenador los datos recogidos. El principal inconveniente de este tipo de máquina es que la habilidad del operario puede ser influyente en la medida final (Figura 2.3.7).
- Durómetro. Es utilizado para medir la dureza del material. Se aplica una fuerza sobre un punzón normalizado y dependiendo de la huella y profundidad que marque sobre la pieza se obtiene el valor de dureza (Figura 2.3.8).
- Rugosímetro. Se emplea para cuantificar como es el acabado superficial de la pieza. La rugosidad de la superficie se mide en micras. Esto se consigue por medio de un sensor, un palpador que se desplaza por la superficie a analizar (Figura 2.3.9).
- Proyector de perfiles. Es una herramienta de medición óptica que se ocupa de aumentar las dimensiones de la pieza para permitirnos una mejor medida. Este se usa cuando es necesario verificar detalles de pequeñas dimensiones que con los útiles anteriores no es posible. Se hacen las medidas directamente sobre la pantalla proyectada. También es muy utilizado para la medida de ángulos, ya que la pantalla donde se proyecta la pieza es giratoria. Por ello, es muy aplicado para la medida de ángulos de los chaflanes (Figura 2.3.10).
- Bloques patrón. Son un conjunto de elementos prismáticos macizos que representan una dimensión con una alta precisión debido a su excelente acabado superficial. Son usados para conocer si algunos de los equipos anteriores tienen errores de medición y en el caso de que así sea, volver a calibrarlos. Estos bloques son muy sensibles y deben estar conservados en unas adecuadas condiciones. Las verificaciones internas se realizan, por lo general, conforme a estos patrones calibrados realizando varias medidas sobre ellos (Figura 2.3.11).

Aquellos equipos que no tienen su certificado de calibración en vigor o para los que no se han llevado a cabo la verificación en las fechas indicadas son identificados y custodiados para que no puedan utilizarse.



Figura 2.3.7 Brazo de medición



Figura 2.3.8 Durómetro



Figura 2.3.9 Rugosímetro

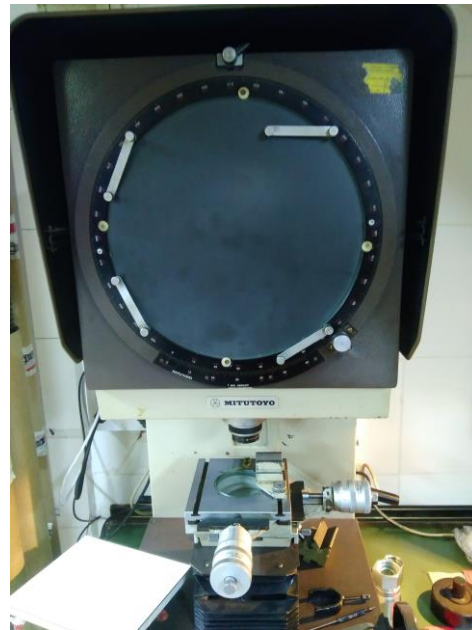


Figura 2.3.10 Proyector de perfiles



Figura 2.3.11 Bloques patrón

En algunos casos, debido a la complejidad de la pieza, no es posible verificar algunas de sus dimensiones con estos equipos, sobre todo para medidas interiores. En estos casos, se le realiza un corte a la primera pieza fabricada y ahora ya si se puede realizar estas medidas para verificarlas. Para el resto de piezas fabricadas se dan por adecuadas estas dimensiones.

Una vez se ha realizado cualquiera de las tareas de inspección definidas al comienzo de esta apartado, con los aparatos de medida indicados aquí, el lote resultante se clasifica de 3 formas posibles:

- Óptimo. El lote es considerado como óptimo, es decir, se han encontrado menos piezas no conformes de las necesarias para descartarlo. Ya está a la espera de pasar a la siguiente fase o ser enviado. Se etiqueta el lote con color **verde**.
- Defectos menores. Existen un número de piezas no conformes que no es aceptable. Estos defectos pueden ser solucionados con algún método de mecanizado. Por ejemplo, el diámetro de un taladro es inferior a la tolerancia marcada. Se puede solucionar retaladrando. Se les identifica con una etiqueta **amarilla**.
- Defectos críticos. Al igual que en el caso anterior, el lote no es apto. Al contrario que para los defectos menores, estos no pueden ser solucionados. Se debe extraer las piezas defectuosas y realizar una nueva inspección. La forma de identificar este lote es con una etiqueta **roja**.

3 PIEZA TIPO TUERCA

Una tuerca (Figura 3.0.1) es un elemento metálico con un orificio central que se utiliza para acoplar a un tornillo, o en este caso a un racor, ya sea de forma fija o desplazable. La principal función de la tuerca es sujetar y fijar uniones de elementos desmontables. Las roscas deben tener unas características geométricas acordes al racor con el que forma conjunto.

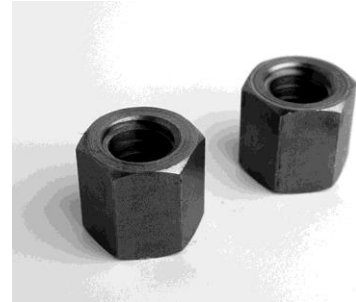


Figura 3.0.1 Tuerca

3.1 Características

Las tuercas se califican en general por 4 características definidas a continuación:

- Número de caras. En la mayoría de los casos se dividen en 2. Las tuercas con 6 caras (hexagonales) o con 4 (cuadradas). Estos números de caras se deben a que implican mayor facilidad a la hora de realizar el apriete con una herramienta.
- Grosor de la tuerca.
- Diámetro interior de la tuerca. No se refiere al del agujero en sí, sino al del fondo de la rosca que va a ser el del racor que encaja en ella.
- El tipo de rosca. Hay diferentes tipos como BSP, JIC, métrica, NPT, ORFS...según sea la geometría de la rosca, por otro lado, también se puede diferenciar entre rosca normal o rosca a izquierda, es decir, que el apriete se realiza al contrario de lo establecido generalmente.

Dentro de la empresa de estudio, las roscas se clasifican según la forma en la que se produce la unión con el racor. Por ello se puede diferenciar 3 tipos:

- Tuerca de engargolar. Cuando se habla de engargolar, se recuerda la encuadernación de un libro mediante un alambre metálico. En el caso de piezas metálicas, la definición de tuercas para engargolar no es muy distinto. En este caso se trata de tuercas que contienen un orificio en una de sus caras por las que se introduce un alambre metálico que llega hasta gargol del racor y realiza la unión entre racor y tuerca. La ubicación y la forma de este taladro puede observarse en la Figura 3.1.1.
- Tuerca para prensar. A diferencia de la tuerca anterior donde el exterior está compuesto en su totalidad por 6 caras formando un hexágono, en este caso, no es completamente así, sino que consta de una parte cilíndrica sobre la que se va a realizar el prensado posteriormente. Para

realizar un buen acople con el racor, en su interior contiene dos diámetros interiores distintos, como se representa en la Figura 3.1.2.

- Tuerca desplazable. La apariencia externa de la tuerca es igual que la tuerca para engargolar con la diferencia de que no tiene el taladro. El interior va a depender según el tipo de racor con el que forme conjunto. Para mantener la estanqueidad es necesario el uso de una junta tórica entre el racor y la tuerca y una anilla de freno para evitar el desplazamiento de la tuerca a través del racor. El plano de una tuerca desplazable puede verse en la Figura 3.1.3.

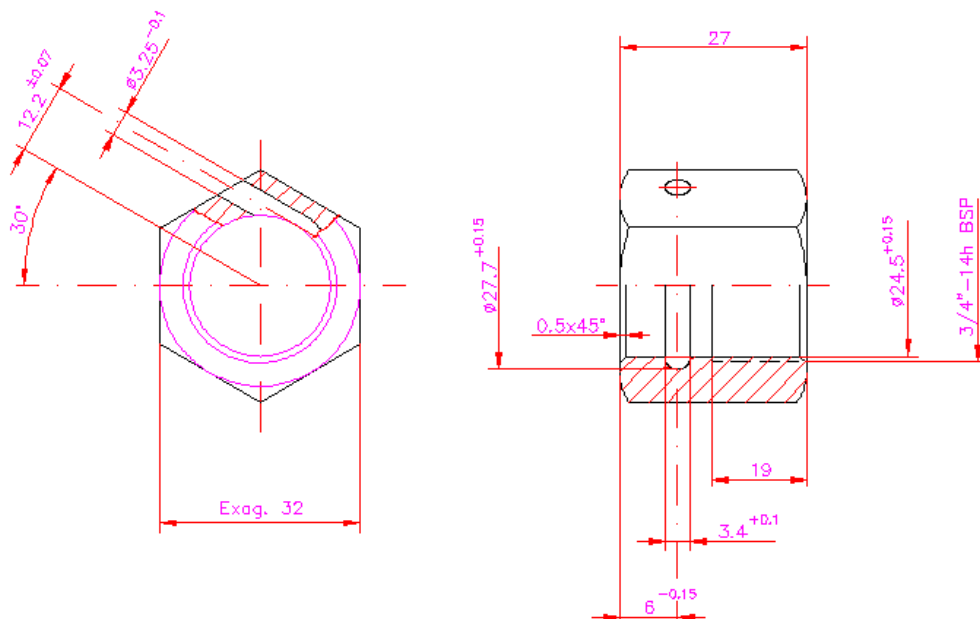


Figura 3.1.1. Tuerca de engargolar

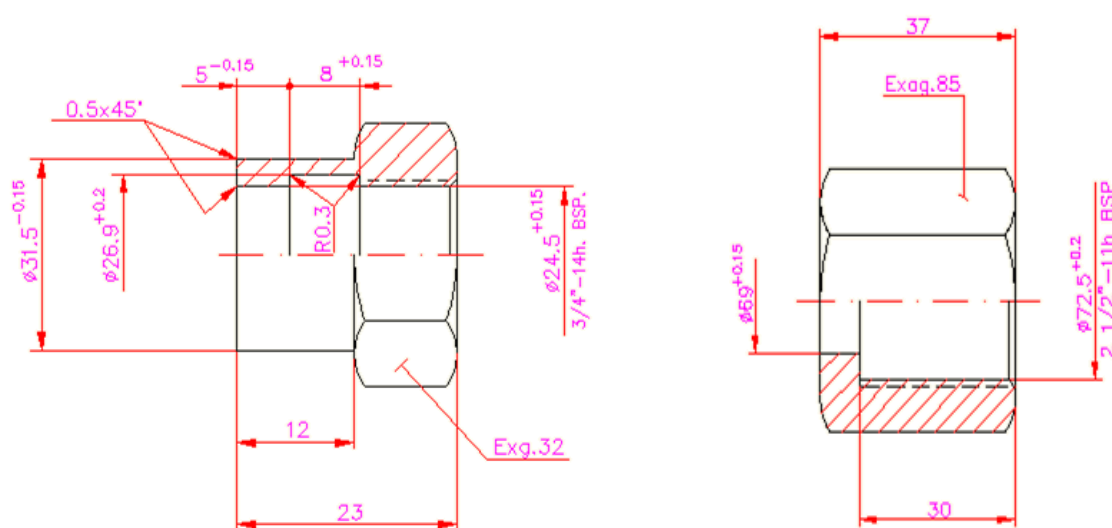


Figura 3.1.2. Tuerca de prensar

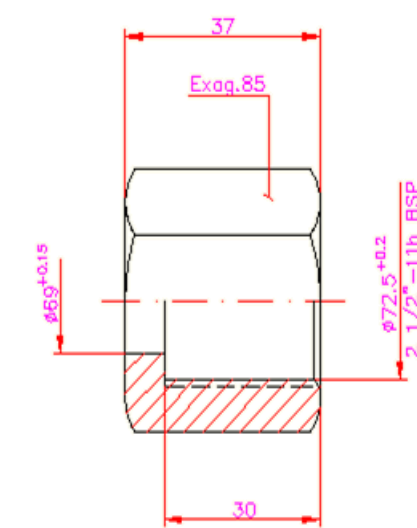


Figura 3.1.3 Tuerca desplazable

3.2 Fabricación

Las tuercas son piezas muy homogéneas y de una sencilla factura. Es por ello que se suelen fabricar en grandes producciones y de forma muy automatizada. Por este motivo, las tuercas se fabrican mayoritariamente en los tornos multihusillo llamados “Schutte”. Estos tornos tienen un gran tiempo de preparación. Por el contrario, el tiempo de mecanizado es muy pequeño y se fabrica de forma automatizada. Estas máquinas son alimentadas por 6 barras (hexagonales o redondas) con las dimensiones necesarias para fabricar la tuerca. La salida del torno son las tuercas acabadas en su totalidad. El mecanizado en el torno se puede resumir en la fabricación del interior de la tuerca, el orificio por donde se va introducir y acoplar el racor y la rosca de la tuerca.

Hay una excepción en un tipo de tuerca que, tras su fabricación en los tornos, necesita de otro proceso de mecanizado. Se trata de las tuercas de engargolar. El taladro que contiene en una de sus caras por las que se introduce el alambre debe tener unas tolerancias pequeñas y por ello se hace posteriormente en la máquina de taladros por un operario una a una.

Por si sola, una tuerca tiene poca funcionalidad, necesitan de otro elemento con el que formar conjunto. Es por ello, que una vez han sido fabricadas y verificadas, pasan al proceso de montaje junto con el racor correspondiente. Por eso, en este apartado se va a explicar como se realiza el montaje de los 3 tipos de tuercas.

Para las tuercas de engargolar se necesita de un alambre. El racor se introduce por la tuerca y se coloca de forma que coincida el orificio de la cara de la tuerca con el gargol del racor. El conjunto es sujetado por un gato. Mientras se introduce parte del alambre y un operario golpea con varios impactos el alambre hasta que este penetra totalmente. De esta forma, el conjunto queda completado.

En el caso de las tuercas de prensar se necesita de una máquina descrita anteriormente. La Finn Power es una máquina de prensar propia del grupo y es la utilizada para este proceso. El trabajador necesita recibir la información de la presión necesaria que le ha de aplicar y coloca el racor en el interior de la tuerca para ser prensados por la máquina. Para verificar que el prensado ha sido según lo especificado, se comprueba la huella de prensado con la ayuda de un pie de rey. Por un lado, se verifica el ancho de prensado y por otro el diámetro resultante.

Para el tipo de tuercas desplazables, el proceso de montaje es el más sencillo de los tres. Consiste en que el operario aloje la junta tórica en la hendidura del racor y encaje por un lado del racor la tuerca y por otro la anilla de freno, que haga que la tuerca no sobrepase el espacio delimitado.

La mayoría de las tuercas tienen forma externa hexagonal para facilitar el apriete a la hora del montaje. La geometría del hexágono exterior está basada en la norma ISO 4032 *“Tuercas hexagonales normales, tipo I. Productos de clases A y B”*. Respecto a las tuercas de prensar, la parte externa cilíndrica, se acoge a lo recogido en la norma ISO 10511 *“Tuercas hexagonales bajas autofrenadas”*.

La norma en la que se basa la fabricación de las roscas de las tuercas se indicará en el apartado de la pieza racor, ya que, en esta empresa existe una clasificación de estos según la rosca que posean.

3.3 Verificación

Las principales verificaciones que se les realizan a las tuercas para certificar que son válidas son las siguientes:

- **Diámetro de rosca.** Se refiere al diámetro interno menor de la rosca, para verificar esta dimensión se puede realizar tanto con un pie de rey, como con un calibre tampón donde uno de sus extremos debe entrar completamente y el otro no.
- **Rosca.** Para comprobar si la rosca se ha fabricado de manera apropiada, se introduce un tampón de rosca. Uno de sus extremos contiene la rosca macho que rosca con la tuerca y el otro extremo debe no roscar, solo indicar.
- **Diámetro canal.** Si en el interior de la tuerca se encuentra una canal, es decir, una zona con un diámetro interior mayor que los de la rosca, se verifica introduciendo un calibre de interiores.
- **Diámetro interior tuerca.** Se refiere al diámetro por donde se introduce el racor. Para verificarlo basta con un pie de rey o un calibre tampón como el usado para el diámetro de la rosca.
- **Diámetro exterior o hexágono.** Se utiliza el calibre o el micrómetro para comprobar esta dimensión.
- **Largo total.** Al igual que en el caso anterior, se usa el pie del rey o el micrómetro.
- **Longitud de prensado.** Para el caso de tuercas de prensar, como se ha explicado antes, hay un diámetro externo donde se va a realizar el prensado con el racor. Tanto la longitud, como el diámetro de esta zona se verifica con el pie de rey o el micrómetro.
- **Taladro de engargolar.** En las tuercas de engargolar, este taladro tiene tolerancias muy estrechas, por eso su verificación es muy importante. Esta se realiza con un pie de rey. También se podría realizar con un calibre tampón, pero debido a su pequeño diámetro y su estrecha tolerancia se suele decantar por el uso del pie de rey.

3.4 Histórico de resultados e incidencias

El principal caso de incidencia que se comete en la fabricación de tuercas es de problemas con las roscas, sobre todo en piezas que han sido cincadas.

Cuando se fabrica una tuerca que posteriormente va a ser llevada a un tratamiento de zinc, se fabrican con un espesor ligeramente inferior al deseado. Debido al tratamiento se van a recubrir con una capa de zinc que les hace estar dentro de tolerancias, pero no siempre pasa así.

Este tipo de piezas, de pequeño tamaño, son cincadas introduciéndose en baños. Estos baños son tambores rotativos en el que las piezas giran en el fluido y absorben el zinc. Debido a esto, hay zonas interiores en las que el fluido no penetra en condiciones adecuadas y el cincado no se realiza de forma óptima.

Una vez retornan las piezas a la fábrica hay 3 casos ante los que nos encontramos:

- Las tuercas han adquirido el adecuado zinc y junto a las dimensiones dadas durante el mecanizado previo, una vez verificadas algunas de ellas, la rosca y el resto de las dimensiones verificadas se encuentran dentro de tolerancias.
- Otras de las piezas absorben más zinc del esperado y cuando introduces el calibre tampón de rosca, este no se introduce totalmente en ninguno de sus dos extremos.
- Por último, puede darse el caso de que la tuerca absorba menos zinc del que se desea y a la hora de verificar la rosca con el calibre tampón de rosca, este enrosque ambos extremos del tampón de rosca.

Hay casos donde, aunque la verificación mediante calibre es óptima, se observa que hay pequeñas manchas de zinc y se ha oxidado, por tanto, no aprueba la verificación visual. También existen ocasiones donde llegan piezas en buen estado visual, pero con el tiempo de almacenaje en la fábrica aparecen manchas blancas que estropean visualmente la pieza.

En las tuercas de engargolar, en ocasiones, surgen problemas en el ángulo del taladro. Como se ha dicho, este taladro se realiza manualmente por un operario y va a depender de su habilidad para realizarse correctamente.

4 PIEZA TIPO RACOR

Racor es una palabra que proviene del francés “raccord” que significa conexión. Por tanto, es una pieza metálica con o sin roscas que sirve para conectar tubos. Suele formar conjunto con una tuerca que es con la que en esas ocasiones se realiza el apriete. Algunos racores necesitan también, además de la tuerca, de una junta tórica y de una anilla de apriete. De esta forma se puede garantizar la estanqueidad y la fijación de la conexión.



Figura 4.0.1. Racor

4.1 Características

Un racor se puede simplificar fundamentalmente en dos partes, la caña que es la zona más en contacto con la manguera y la cabeza, la parte que realmente realiza la conexión. Una vez especificada estas dos partes, puede haber diferentes características en el racor que se pueden definir en las siguientes clasificaciones:

- Según ángulo. Dependiendo del ángulo que forme el eje de revolución de la cabeza y de la caña, se pueden distinguir 3 tipos.

90°

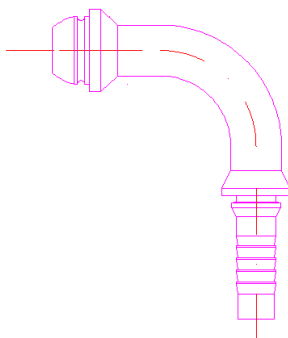


Figura 4.1.1. Racor 90°

45°

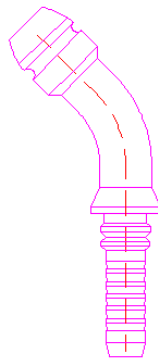


Figura 4.1.2. Racor 45°

0°

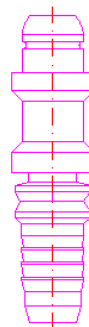


Figura 4.1.3. Racor 0°

- Según rosca
 - BSP. También conocida como rosca GAS tiene forma de triángulo isósceles y el ángulo que

se forma es de 55° . El lado menor del triángulo es igual al paso, y las crestas y valles son redondeados. El diámetro nominal o exterior de la rosca se expresa en pulgadas, y el paso está dado por el número de hilos contenidos en una pulgada, por lo que se expresa en hilos por pulgada. Es utilizada para unir conexiones de media-alta presión y sin que se necesiten elementos auxiliares (Figura 4.1.4).

- Métrica. Está formada por un filete helicoidal en forma de triángulo equilátero con crestas truncadas y valles redondeados. El ángulo que forman los flancos del filete es de 60° y el paso, medido en milímetros, es igual a la distancia entre los vértices de dos crestas consecutivas. Se designa con la letra M seguida del valor del diámetro nominal en milímetros. Tiene una gran resistencia a la tracción, debido al gran ángulo del hilo de rosca (Figura 4.1.5).

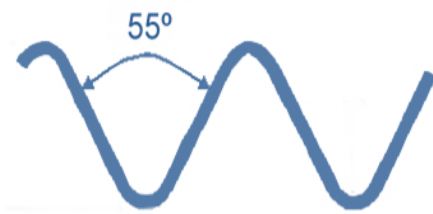


Figura 4.1.4 Rosca BSP

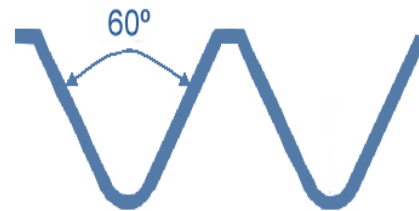


Figura 4.1.5 Rosca métrica

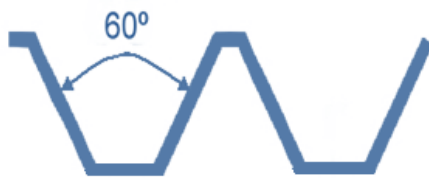


Figura 4.1.6 Rosca JIC I

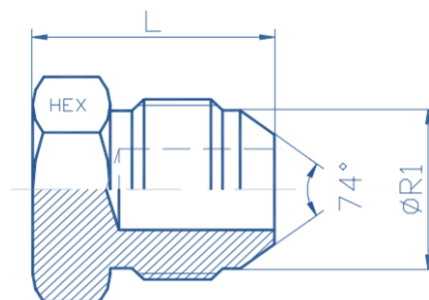


Figura 4.1.7 Rosca JIC II

- UNF-JIC. La conexión SAE 37° - JIC es muy usual en los sistemas hidráulicos. Tanto la conexión macho como la hembra tienen un asiento 37° saliente en el macho y entrante en la hembra. Son utilizadas, normalmente, para alta presión. El sellado tiene lugar entre el ángulo positivo del macho y el ángulo negativo de la hembra. Por eso es muy importante la verificación de este ángulo. Los hilos sólo sirven para asegurar mecánicamente la conexión. Tiene compatibilidad con una alta gama de temperaturas (Figura 4.1.6 y 4.1.7).
- NPT. Tiene diseño cónico, la rosca va formando un ángulo de 60° y las crestas y valles están truncados en $1, 8^\circ$. El diámetro se expresa en pulgadas y el paso en hilos por pulgada. Este enlace realiza tanto conexión mecánica como sello hidráulico, evitando así, problemas de fuga. (Figura 4.1.8)

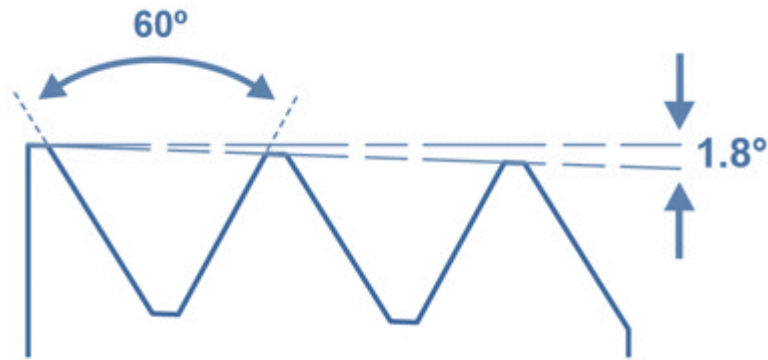


Figura 4.1.8 Rosca NPT

- ORFS. Sistema con paso de rosca recto y donde el macho incorpora una junta tórica. El asiento entre macho y hembra es de cara plana produciéndose el sellado entre macho y hembra por la estanqueidad de la tórica. La rosca garantiza mecánicamente el sellado y cierre. En este tipo de rosca, el asiento es considerado uno de los mejores que existen. Se caracteriza por su gran resistencia y su trabajo con una muy alta presión sin problemas de fuga. El dibujo que muestra el contorno de sus dientes es similar al de la rosca JIC (Figura 4.1.6) pero con otras dimensiones.
- Según orientación de la rosca
 - A derecha. Es la más usada en toda la fabricación. En ella la rosca avanza cuando se gira en sentido horario.
 - A izquierda. La rosca avanza en sentido antihorario y son usadas para montajes en ejes giratorios que puedan provocar con su movimiento que la rosca se afloje.
- Según cabeza.
 - Macho. La cabeza esta formada por la rosca propiamente dicha y, es esta rosca, la que hace la unión con el otro elemento. A continuación, se suele encontrar una zona del racor hexagonal para facilitar el montaje de la unión. Esta rosca puede ser de dos tipos, recta o con forma cónica.
 - Recto. La rosca no forma un ángulo respecto al eje de revolución (Figura 4.1.10).
 - Cónico. La rosca forma un pequeño ángulo respecto al eje de revolución (Figura 4.1.11).
 - Hembra. En la cabeza tiene un orificio con rosca donde se introduce el macho de la otra conexión (Figura 4.1.12).
 - Boquilla. Los racores boquilla se caracterizan por una curvatura en la cabeza. El radio es variable para cada tipo de racor boquilla. A continuación, se ilustra un plano de un racor de este tipo. Cabe destacar que este racor de ejemplo es para una tuerca de engargolar pues, contiene un alojamiento donde se va a acoplar el alambre (Figura 4.1.13).

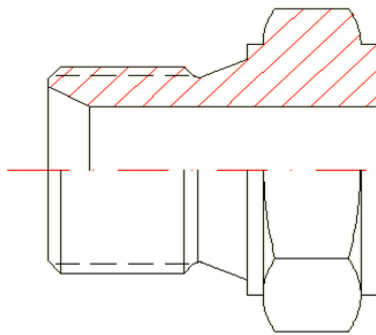


Figura 4.1.9 Racor macho recto

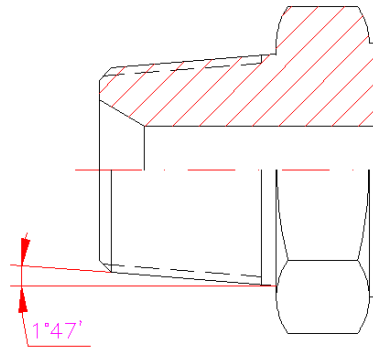


Figura 4.1.10 Racor macho cónico

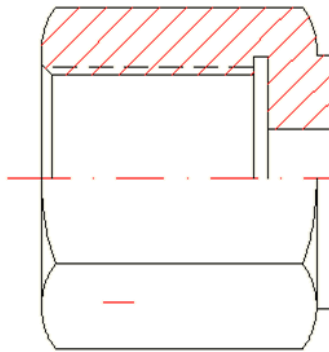


Figura 4.1.11 Racor hembra

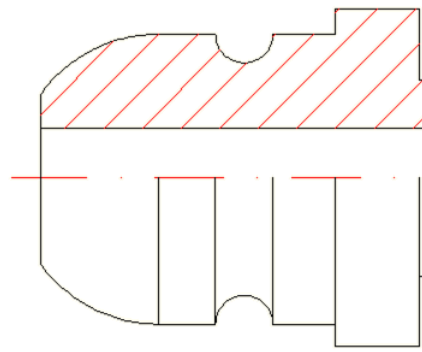


Figura 4.1.12 Racor boquilla

- Brida. La cabeza del racor tiene forma de brida como se observa en la Figura 4.1.14. Una brida es un elemento plano que entra en contacto con la otra parte de la conexión también plano. Esta última parte posee 4 orificios para pernos. Para realizar la unión se aprietan los pernos permitiendo ser desmontado sin operaciones destructivas. Para evitar fugas, la cabeza de brida posee un alojamiento donde se introduce una junta tórica que realiza la estanqueidad.
- O'ring. El nombre viene de la denominación en ingles de anillo en O. Este anillo se refiere a una junta tórica que se introduce en el alojamiento que se observa en la Figura 4.1.15. Estos retenes, usados en este tipo de racor como en los anteriores, pueden ser contruidos con caucho natural, pero se prefieren los elastómeros artificiales de neopreno. La acción de retención se consigue por efecto de un montaje forzado del anillo dentro de su alojamiento. Si el juego es excesivo, puede producirse la salida parcial del anillo de su alojamiento, con grave daño para la eficiencia y para su duración. El ángulo que forma la cabeza es de 24° .
- Orientable. Con este tipo de conexión se permite un cambio de dirección en el flujo. La cabeza está formada por una esfera truncada con un orificio a ambos lados para realizar la conexión y el paso del fluido. Son utilizados en casos que por problemas de espacio no permite racores de 90° (Figura 4.1.16).

- Espiga lisa. Consiste en un cilindro perforado por donde circula el fluido (Figura 4.1.16).

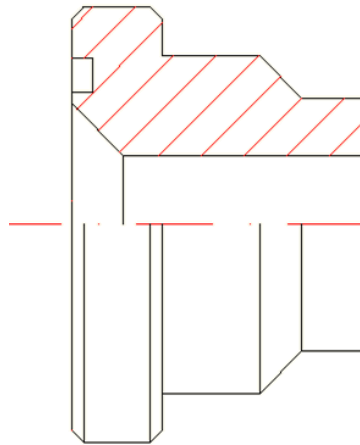


Figura 4.1.13 Racor brida

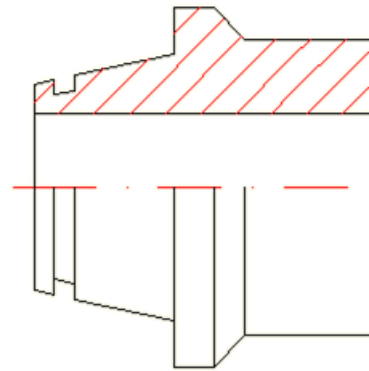


Figura 4.1.14 Racor O'ring

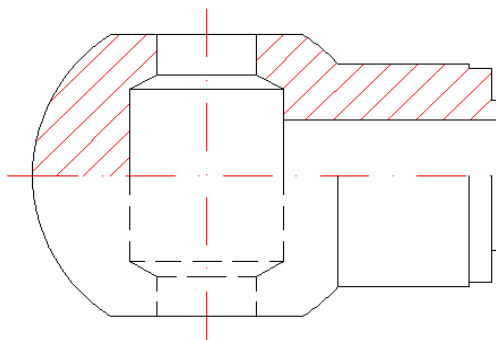


Figura 4.1.15 Racor orientable

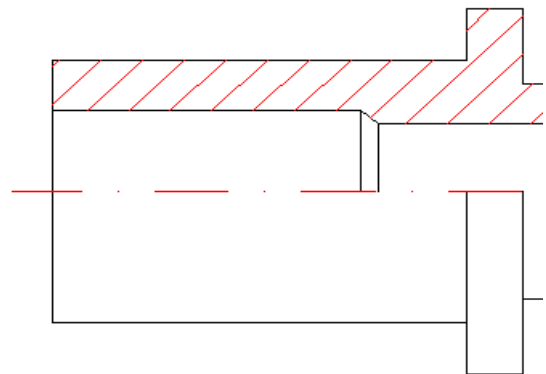


Figura 4.1.16 Racor espiga lisa

- Según caña. La caña es la zona del racor que se encuentra en contacto con la manguera.
 - Normal. La caña básica está formada por varios dientes que están en contacto con la manguera del latiguillo haciendo rozamiento entre la caña y la manguera evitando que esta última se salga del racor. También se necesita un “disco” de mayor diámetro, llamado galleta, que hace de tope a la manguera (Figura 4.1.18).
 - Interlock. Tiene dos principales diferencias respecto al anterior caso. Una de ellas es que los racores interlock tienen dos galletas. La otra es el ángulo que se forma al final de la caña. Los dientes son iguales, aunque en este caso el número es menor (Figura 4.1.19).
 - No Pelar Global. La forma de esta caña y su manguito hace que no sea necesario pelar la manguera a la hora de realizar el montaje. Las conexiones NPG están diseñadas especialmente para traspasar la cubierta y agarrarse al centro de la malla de la manguera sin tener que pelar la cubierta. Eso da una forma de trabajo mucho más limpia rápida y segura (Figura 4.1.20).
 - Martillo. Es bastante similar a la caña interlock con la principal diferencia que los dientes tienen forma cuadrada en vez de triangular (Figura 4.1.21).

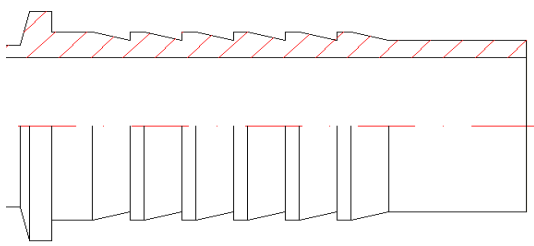


Figura 4.1.17 Caña normal

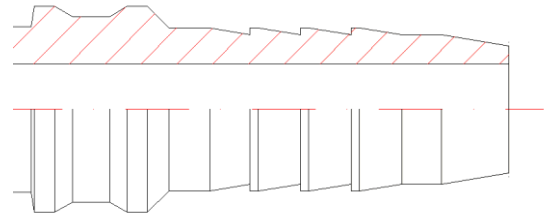


Figura 4.1.18 Caña interlock

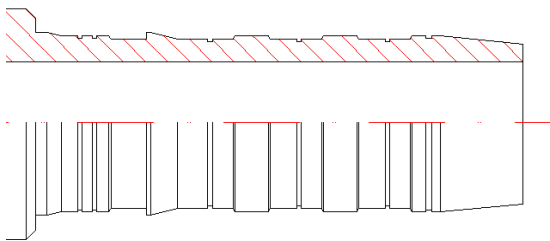


Figura 4.1.19 Caña NPG

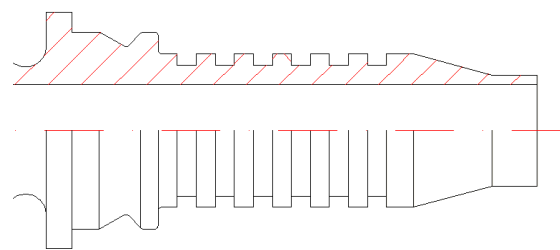


Figura 4.1.20 Caña martillo

4.2 Fabricación

La fabricación se produce principalmente en dos tipos de maquinaria. Se fabrican o en los tornos CNC *Nakamura* o en los tornos multihusillo *Schutte*. La elección de uno u otro se basa en fundamentos de producción. Ya que, para un racor cualquiera, en el torno *Nakamura* se necesita 4 horas de preparación mientras que para el *Schutte* 14 horas. Sin embargo, el torno *Schutte* al estar alimentado por 6 husillos la producción es mayor que en la máquina *Nakamura*.

Las máquinas son alimentadas por barras con el diámetro necesario para realizar la pieza a fabricar y dentro de ella con las diversas herramientas de la máquina fabrica en su totalidad o casi totalidad el racor. Algunas de las herramientas que se usan pueden ser herramientas de cilindrar, de refrentado para lograr superficies perpendiculares al eje de simetría, de torneado cónico, de roscado, de ranura, de mandrinado para rebajar el interior de un orificio etc. y logran medidas muy precisas.

Hay ocasiones en que los taladros interiores se realizan de forma independiente en la máquina de taladrar. También ocurre con la cabeza de los racores orientables.

Si el racor necesita un ángulo en su eje, después de salir del torno se lleva a la curvadora la cual necesita 1 hora de preparación y se curva un racor cada 30 segundos. Para realizar este proceso se necesita de otros medios de fabricación como los apoyos de la cabeza y la caña o el empujador del racor.

Si los racores necesitan de un tratamiento térmico para cambiar sus propiedades, a continuación, se hacen pasar por la cinta transportadora del horno donde se les hace estar a una temperatura superior a los 900°C y luego se dejan enfriar al aire libre.

Depende del material en el que hayan sido fabricados, al igual que las tuercas, puede ser necesario que se manden a otra industria a recibir un proceso de cincado. Si los racores son de pequeño tamaño se realizan en tambores giratorios como en el caso de las tuercas. Si son de mayor tamaño se cuelgan de bastidores que son sumergidos en el fluido hasta que adquieren el espesor necesario. Posteriormente, son devueltos a la empresa y tras un breve muestreo o son montados con su conjunto (tuerca) o salen de fábrica.

La fabricación de los racores se basa en numerosas normas que se van a citar a continuación. Si en principio, se trata sobre las normas usadas para la fabricación de las roscas tanto en los racores como en las tuercas, la norma UNE 17701:2002 *“Rosca métrica ISO para usos generales. Perfil básico”* establece la serie general de diámetros y pasos de rosca métrica. Por otro lado, la rosca JIC está fundamentada en la norma inglesa SAE J514. Las roscas BSP, tanto la rosca recta como la cónica, están diseñadas según la norma internacional ISO 228-1 e ISO 7-1, respectivamente. La norma americana ASME B1.20.1 es la seleccionada para fabricar las roscas NPT y la fabricación de la rosca ORFS, propia de los racores O’ring, está basada tanto en la norma SAE J1453 como en la ISO 8434-2 y en la ISO 12151.

Para el diseño dimensional de las demás partes de los racores se puede acudir a normas como la UNE 6149 *“Conexiones para transmisiones hidráulicas y aplicaciones generales. Orificios y extremos macho con roscas métricas ISO 261 y junta de estanqueidad tórica”* para los taladros interiores, extremos de los machos y para las juntas de estanqueidad. Para las juntas toroidales (O’ring) también se puede hacer uso de la UNE 3601. Para los taladros interiores se puede usar la norma ISO 2306.

Otras normas que tratan sobre la fabricación de racores son: UNE-EN 6126, UNE-EN 14420 *“Accesorios para mangueras con elementos de sujeción”* o UNE-EN 10226 *“Roscas de tuberías para uniones con estanqueidad en la rosca”*.

4.3 Verificación

Las comprobaciones que se realizan para verificar un racor son numerosas y variadas dependiendo del tipo de racor que se esté verificando.

- Diámetro dientes de la caña. Para verificar las dimensiones de la caña solo se realiza una medida del diámetro externo de la caña del racor con un pie de rey o con un micrómetro.
- Diámetro “galleta”. Como se ha definido anteriormente, la “galleta” se le denomina el “disco” superior a los dientes de mayor diámetro que hace de tope de la manguera. Para verificarlo basta con medir el diámetro con un calibre o micrómetro.
- Diámetro garganta. La garganta es la parte superior a la “galleta” donde se introduce parte del manguito en el montaje del latiguillo. Es de menor diámetro que la “galleta” y se verifica con un pie de rey o micrómetro como en los casos anteriores.
- Ancho garganta. La garganta debe tener un ancho bien definido. Este se verifica con las mordazas para medidas internas de un pie de rey.

- Diámetros interiores racor. Un racor puede ser de un diámetro constante en su interior o tener varios diámetros variables. Para verificarlos es posible usar tanto con las mordazas de medidas internas de un pie de rey como con calibres tampón, donde uno de los extremos debe entrar por completo y el otro no. En el caso de que exista algún diámetro al que no se pueda acceder con estos dos útiles es necesario el uso de un pie de rey de interiores.
- Diámetros exteriores cabeza racor. Dependiendo del tipo de racor que se esté verificando va a tener unas dimensiones externas u otras. Todos estos diámetros se pueden verificar con el pie de rey o con el micrómetro.
- Diámetro arranque cono/esfera. Algunos racores como los de boquilla o los orientables tienen una parte esférica. Se verifican midiendo el diámetro de arranque en el comienzo de la esfera. Otros racores como los O'ring o el tipo brida tienen partes cónicas. Al igual que para los esféricos, se mide el diámetro de arranque del cono. Ambos casos se hacen con un pie de rey. Esta verificación entraña precisión por parte del verificador porque colocar las mordazas del pie de rey en el preciso comienzo del cono o esfera requiere una gran destreza.
- Profundidad alojamiento. El racor puede tener diferentes alojamientos ya sea para el alambre de engargolar, para juntas tóricas como en los O'ring o en el tipo brida. Estas dimensiones suelen tener tolerancias estrechas ya que una gran variación en la medida final podría provocar que no se realice correctamente la estanqueidad o el montaje. Para verificar se utiliza un pie de rey, concretamente la varilla de medidas de profundidad.
- Ancho alojamiento. Para esta medida ocurre igual que para el ancho de la garganta y la verificación se realiza de igual forma.
- Diámetro rosca. Aquellos racores cuya cabeza incluyan una rosca tanto macho como hembra se verifica el diámetro externo e interno respectivamente. Esto se realiza con un pie de rey o micrómetro para los diámetros de rosca macho y un pie de rey únicamente para las roscas hembras, en este caso con las bocas de interiores.
- Rosca. Para verificar si la rosca es la adecuada se utiliza un equipo u otro dependiendo si se trata de rosca macho o rosca hembra. Para roscas macho se utiliza un par de anillos de rosca, donde uno debe roscar por completo la rosca y el otro solo apuntar. Si se trata de una rosca hembra se utiliza un calibre tampón de rosca, donde al igual que en el caso anterior, un extremo debe roscar completamente y el otro solo apuntar.
- Longitud rosca. La longitud que se le ha propinado a la rosca también se verifica. Se realiza utilizando la varilla de medir profundidades del pie de rey.
- Ángulo rosca. Los ángulos de las roscas tienen unos valores muy pequeños y muy precisos. Para verificarlos se usan dos métodos. El más rápido es usar un par de anillos de rosca angular. Estos anillos contienen dos marcas o límites. El ángulo de la rosca es óptimo si el extremo roscado se encuentra entre ambos límites. El otro método más preciso es usar el proyector de perfiles. Esto implica trasladar cada pieza a verificar a la sala de metrología haciendo el proceso más lento.

- Cota de curvado. Se verifica el ángulo final de solo una de las piezas curvadas en el proyector de perfiles.
- Diámetro garganta curvado. Podría darse la circunstancia de que, al curvar el racor por la garganta, el diámetro de esta variara de dimension respecto a la original fabricada. Para verificar que no ha sido así, se vuelve a medir el diámetro de la misma forma que se indica anteriormente.

4.4 Histórico de resultados e incidencias

Las principales incidencias que se incurren en la fabricación de racores se puede dividir en 4 casos:

- Dientes de la caña. En la fabricación de los dientes de la caña se es propenso a sufrir desviaciones en sus dimensiones. Esto puede provocar que, a la hora del montaje con la manguera, los dientes no agarren bien la malla de la manguera o, por el contrario, se agarren en exceso ocasionando problemas en ella. Normalmente, por problemas de desgaste de la cuchilla de mecanizado que provoca que se fabriquen racores en mal estado.
- Rosca. Este problema es idéntico al de las roscas de las tuercas. Suele producirse durante el proceso de cincado debido a un exceso o deficiencia de adquisición de zinc. El problema se identifica con el calibre de rosca.
- Garganta. Como se ha dicho anteriormente, la garganta del racor es la zona donde se acopla el manguito. Si la anchura de esta es mayor o menor de la necesaria da problemas en el montaje. Normalmente, por problemas de desgaste de la cuchilla de mecanizado se va estrechando esta zona ocasionando que se fabriquen racores en mal estado.
- Alojamientos. En muchos racores existen diversos alojamientos ya sea para juntas tóricas, para el alambre de engargolar u otros usos. Estos deben tener tolerancias estrechas para que, por ejemplo, cuando se introduzca la junta tórica no tenga holgura y durante el funcionamiento de la conexión no se produzcan fugas de fluido.

5 PIEZA TIPO MANGUITO

Los manguitos tienen distintas formas de denominarlos. También se les conoce como virolas, casquillos o ferulas hidráulicas. Estos elementos son tubos de escasa longitud, cilíndricos y perforados, con diferentes pestañas en su interior que son usados para unir dos conexiones de igual o distinto diámetro. Por uno de sus extremos se introduce la manguera que va a ser conectada y por el otro el racor que va a realizar la unión. El propósito de este elemento es realizar la unión entre la manguera y el racor.



Figura 5.0.1 Manguito

5.1 Características

- Exterior del manguito. El exterior del cilindro que forma el manguito puede tener diferentes formas. Puede ser completamente liso (Figura 5.1.1) o tener varias muescas de diferentes formas y situados en diferentes lugares (Figura 5.1.2 y Figura 5.1.3). La situación de estas muescas se define según R1AT o R2AT. Las marcas nos indican el número de mallas de la manguera. También puede tener una pestaña para el prensado como se observa en la imagen del comienzo de este capítulo.

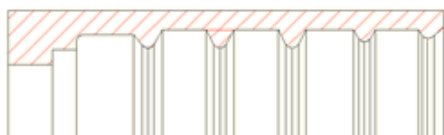


Figura 5.1.1 Manguito superficie lisa

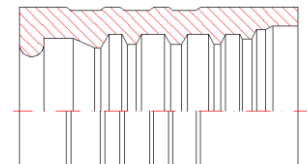


Figura 5.1.2 Manguito superficie con muescas I

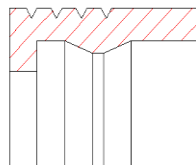


Figura 5.1.3 Manguito superficie con muescas II

- Dientes del interior del manguito. El número y la forma de los dientes en el interior del manguito que van a estar en contacto con la manguera pueden ser variables. El número está mayoritariamente comprendido entre 4-5 dientes y la forma puede ser desde triangular con diferentes ángulos y valles y picos redondeados (Figura 5.1.5) hasta trapezoidales de distinto tipo (Figuras 5.1.4, 5.1.6 y 5.1.7).

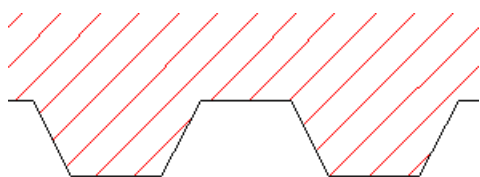


Figura 5.1.4 Manguito dientes trapezoidales I

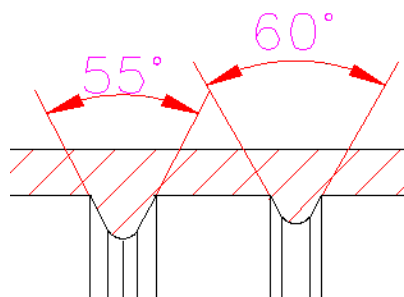


Figura 5.1.5 Manguito dientes redondeados

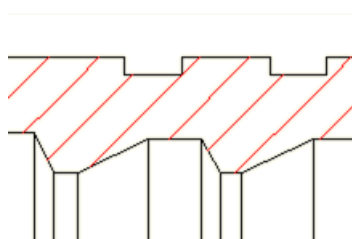


Figura 5.1.6 Manguito dientes trapezoidales II

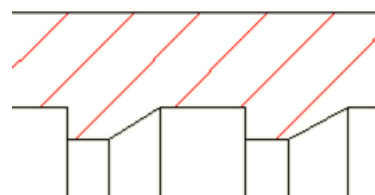


Figura 5.1.7 Manguito dientes trapezoidales III

- Entrada manguera. La manguera entra por el orificio de mayor diámetro del manguito. Esta entrada puede tener un ángulo de entrada para facilitar el acople (Figuras 5.1.8, 5.1.9 y 5.1.10).

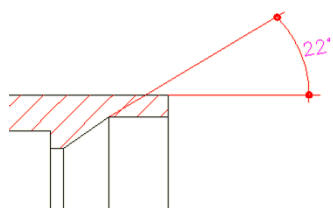


Figura 5.1.8 Entrada de manguito I

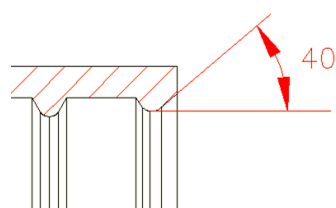


Figura 5.1.9 Entrada de manguito II

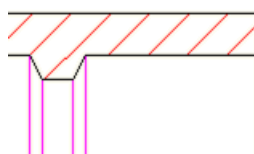


Figura 5.1.10 Entrada de manguito III

- Entrada caña del racor. Esta zona tiene que tener un diámetro que permita la entrada de la caña del racor y un alojamiento posterior donde se incruste la “galleta” del propio racor (Figuras 5.1.11, 5.1.12, 5.1.13 y 5.1.14).

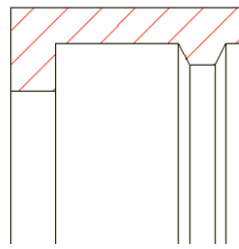


Figura 5.1.11 Entrada racor a manguito I

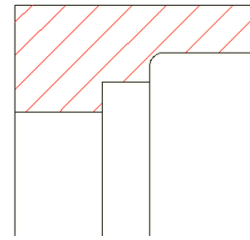


Figura 5.1.12 Entrada racor a manguito II

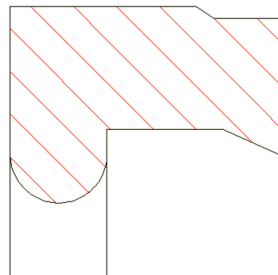


Figura 5.1.13 Entrada racor a manguito III

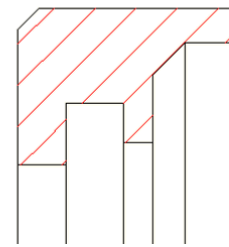


Figura 5.1.14 Entrada racor a manguito IV

5.2 Fabricación

Los manguitos se fabrican de forma muy similar a la indicada anteriormente en los racores. Se fabrican o bien en los tornos de cnc *Nakamura* o en los tornos multihusillo *Schutte*. La elección de uno u otro torno es debido a temas de productividad igualmente. Por poner un ejemplo de fabricación de manguito en uno u otro torno, el tiempo de preparación en el torno *Nakamura* es 4 horas igual que para el racor y 14 horas para el torno *Schutte*. El tiempo de mecanizado en el *Nakamura* es de 188 segundos mientras que en el *Schutte* 78 segundos.

Igualmente, estas máquinas son alimentadas por barras de diferentes diámetros y la salida de la máquina es la pieza totalmente fabricada.

Se utilizan fundamentalmente herramientas como brocas para hacer los taladros interiores de los manguitos, cuchillas para hacer los dientes y canales interiores, además de para hacer las ranuras exteriores.

Este tipo de piezas también puede que necesite recibir los mismos tratamientos térmicos o de cincado descritos en el tipo de piezas anteriores.

Una vez están fabricadas salen de la fábrica para que se realice el montaje necesario para formar el latiguillo.

Las marcas exteriores, que hacen referencia el tipo de manguera necesaria para el montaje están basadas en la norma ISO 1436: 2017 que especifica los requisitos para tipos de mangueras reforzadas con alambre trenzado y un conjunto de mangueras de tamaño nominal de 5 a 51 más.

5.3 Verificación

- Diámetros externos. Para verificar estos diámetros, tanto el del cilindro en sí como el de alguna pestaña, se usa el pie de rey o el micrómetro.
- Diámetros internos. Los manguitos suelen tener bastantes diámetros internos que verificar. Tiene dos orificios que verificar y a lo largo del manguito suele haber diferentes pestañas que deben ser comprobadas. Todos estos diámetros son medidos con los calibres tampones pasa-no pasa o pie de rey.
- Canales. Los valles entre pestañas del interior del manguito son denominados como canales. La existencia de las pestañas nos hace imposible verificarlas con un pie de rey normal. Por eso para verificar las canales es necesario el uso de un pie de rey de interiores.
- Pestañas. No solo es necesario verificar el diámetro de las pestañas de prensado sino su anchura. Para ello se utiliza la varilla de profundidades del pie de rey.

5.4 Histórico de resultados e incidencias

Las principales incidencias en la fabricación de manguitos se producen en el interior de estos porque los errores de fabricación del exterior del manguito tienen menor importancia. Incluso, hay ocasiones, en que el diámetro externo de la pieza fabricada es menor del especificado en el plano y se da por óptimo por motivos estéticos. Esto se explica mejor con un ejemplo.

Si se desea fabricar un manguito cuyo diámetro exterior es de 25,9 mm y el diámetro de la barra es de 26 mm, el acabado de la superficie es mucho mejor con un diámetro de 25,8 que el especificado y esto no tiene ninguna repercusión en el funcionamiento del manguito.

Volviendo ahora en las incidencias del interior del manguito se producen de dos tipos:

- Diámetros interiores de entrada de manguera y racor. Para evitar fugas de fluido estos diámetros tienen que tener tolerancias estrechas y durante la fabricación de ellos se van produciendo desviaciones en las medidas. Se controla con los calibres tampón pasa-no pasa.
- Dientes/canales interiores. Al igual que ocurre con la caña de los racores, la precisión en la fabricación de los dientes y canales de los manguitos es fundamental para un preciso montaje y agarre de la manguera. Se comprueba que están fabricados de forma incorrecta con el calibre tampón pasa-no pasa para el caso de los dientes y con pie de rey de interiores para las canales.

6 PROPUESTA DE MEJORA

Una vez se han detallado las diferentes piezas más fabricadas en “taller de mecanizado”, habiéndose mostrado cuales son las geometrías de estos 3 tipos de piezas y los principales problemas. Se proponen, tras un tiempo de trabajo, 4 posibles propuestas que podrían mejorar la calidad del sistema de fabricación y verificación, obteniendo una producción que disminuya los defectos de las piezas, las piezas desechadas y aumente la satisfacción de los clientes.

Las cuatro propuestas se pueden clasificar de la siguiente forma:

- **Análisis vida de herramienta.** Las herramientas de las máquinas de control numérico pueden sufrir desgaste que provoque la fabricación de piezas fuera de tolerancias.
- **Estudio sobre útiles de medición.** Unas herramientas de medición no calibradas correctamente causan medidas incorrectas y, por lo tanto, verificaciones erróneas de las piezas.
- **Solución problema cincado.** Ocurre con frecuencia que piezas que son enviadas a la subcontrata que realiza el cincado vuelven con dimensiones fuera de tolerancias, sobre todo en las roscas. Esto produce insatisfacción por parte de los clientes.
- **Estudio sobre planes de muestreo.** En líneas anteriores se detalla el plan de muestreo que se realiza en “taller de mecanizado” pero se plantea si podría ser mejorado para evitar que una gran cantidad de piezas defectuosas pasen el filtro del muestreo y lleguen al cliente.

6.1 Análisis vida herramienta

Todo proceso de mecanizado conlleva un desgaste de las herramientas de corte. Éste se debe principalmente a acciones mecánicas, térmicas y químicas que dan lugar a desgaste de la misma provocando la pérdida del filo de la herramienta.

Su vida útil va en función de estas fuerzas o cargas que deforman la geometría del corte provocando malos acabados y piezas fuera de tolerancia.

En operaciones donde se requiere una gran precisión de acabado, como puede ser el alojamiento de una junta tórica en un racor, se considera inservible el filo de corte cuando la superficie de la pieza fabricada deja de cumplir unos requerimientos muy exigentes en cuanto a acabado. En ocasiones basta con una pequeña parte desgastada en la punta de la herramienta para ser requerida la sustitución. Es en estos procesos donde se puede perder la productividad de todo el trabajo, ya que si la herramienta de la máquina no cumple con las necesidades de mecanizado esperadas se pueden estar fabricando piezas no admisibles haciendo perder a la empresa material, tiempo y dinero.

Existen 3 mecanismos de fallo de una herramienta: por fractura, por temperatura y por desgaste.

Los 2 primeros fallos, cuando ocurren dejan la pieza que se está fabricando inservible. En el momento que se produce uno de estos dos fallos se cambia la herramienta y se deshecha la pieza que se estaba fabricando. El fallo por temperatura puede predecirse un poco antes, ya que la propia herramienta cambia de color. Cuando los operarios advierten este cambio de color, intentan cambiar la herramienta antes de que se produzca el fallo catastrófico. Mayoritariamente, estos fallos pueden evitarse realizando el mecanizado en unas óptimas condiciones de trabajo. Sin embargo, el desgaste es inevitable. Siendo el desgaste forzoso, se puede estimar la vida útil de la herramienta a desgaste y ser sustituida en el momento adecuado sin afectar a la producción.

Como el desgaste se va produciendo paulativamente, se pueden fabricar piezas que no tengan las dimensiones deseadas y pasar inadvertido para el operario. Es por ello que una propuesta de mejora para el sistema de calidad de la fabricación de estas piezas es conocer la vida de la herramienta para estas condiciones y así, evitar que se fabriquen piezas que posteriormente vayan a ser deshechadas o tengan que ser reacondicionadas con otros métodos. Como se ha dicho, este suceso produciría una pérdida de tiempo y económicas que repercuten en la prosperidad de la empresa. Además, estas piezas pueden pasar las inspecciones por muestreo y llegar al cliente.

Hay varios métodos de conocer la vida de una herramienta de forma teórica. Uno de ellos es la ecuación de Taylor. A principios del siglo XX, Taylor observa experimentalmente que el desgaste del flanco de la herramienta aumenta con el tiempo en tres etapas diferenciadas:

- Inicio. Durante los primeros instantes, la herramienta sufre un rápido desgaste.
- Estable. En esta etapa, el desgaste es más paulatino y constante.
- Final. Vuelve a incrementar la velocidad de desgaste hasta que la herramienta queda inutilizable.

Son varios los factores que influyen al desgaste. Estos pueden ser la velocidad de corte, de avance, los materiales tanto de la herramienta como de la pieza a fabricar etc. Una vez establecidos estos por los jefes de taller y el personal de la oficina técnica se puede estimar una vida de herramienta teórica. Esta vida de la herramienta se puede contabilizar tanto en tiempo de mecanizado, como en milímetros de mecanizado o en piezas realizadas.

Este estudio se lleva realizando en empresas de mecanizado desde que la mecanización surgió. Por ello, Taylor detalló una ecuación que relacionaba las condiciones de mecanizado con la vida útil de la herramienta. La ecuación se define así:

$$v_c t^n = C$$

Donde v_c se refiere a la velocidad de corte, t al tiempo de vida útil de la herramienta y n y C son constantes que dependen de la velocidad de avance, la profundidad o de los materiales de la herramienta y de la pieza.

De la ecuación se obtiene el tiempo de mecanizado y sabiendo el tiempo que tarda la herramienta en realizar la operación indicada, valor conocido experimentalmente por los jefes de taller, se puede obtener el número de piezas aproximadas que puede realizar la herramienta. Por ejemplo, si se tiene que la vida de la herramienta es un tiempo “ t ” y que la máquina tarda en realizar una

operación de *roscado BSP en un racor* 30 segundos, el número de piezas que se pueden fabricar es " $t/30$ ".

Otra forma de estimar la vida útil de la herramienta es a partir de los datos proporcionados por los fabricantes de estas. El fabricante de la herramienta puede aportar datos como los milímetros que puede mecanizar la herramienta hasta que el desgaste sea excesivo. Teniendo en cuenta los milímetros que se necesitan en cada operación de cada pieza y el número de pasadas programadas, es posible adquirir un número teórico de piezas que es posible fabricar.

Con estos dos datos en la mano, se establece un valor teórico para cada una de las herramientas que entran en juego en cada una de las piezas. Pero la experiencia indica que hay diferencia entre los valores teóricos y los valores reales. Para cada tipo de tuerca, racor o manguito, con unas herramientas predeterminadas de un fabricante seleccionado, la vida de la herramienta se aproximará más o menos al valor teórico calculado. Es por ello que, para tener unas piezas con unos acabados excelentes que aumenten la calidad de la producción hay que aproximarse lo máximo posible al valor real.

Para que el número real de piezas que se realizan antes de que la herramienta necesite ser cambiada se acerque al valor esperado antes de realizar el mecanizado hay que implantar un sistema de mejora continua. El sistema de mejora continua más utilizado es el ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act).

En varias normas ISO se hace referencia a este ciclo, también llamado de Deming debido a su autor Edwards Deming. En la norma ISO 9001 se indica que todo sistema de calidad certificado por esta norma debe emplear un procedimiento de mejora continua y concretamente nombra a este ciclo.

El ciclo PDCA proviene de las siglas en inglés planificar, hacer, verificar y actuar. El ciclo detalla los cuatro pasos que se deben seguir para conseguir la aproximación al valor real esperado de fabricación de piezas sin fallo. Como se ha dicho, el ciclo lo componen 4 etapas cíclicas y una vez que acabe la etapa final se vuelve a repetir el ciclo, reevaluando constantemente la vida de la herramienta.

Las 4 etapas implementadas al análisis de las herramientas son las siguientes:

- Plan. Se planifica teóricamente el número de piezas que la herramienta es capaz de fabricar antes de que el desgaste de esta provoque el cambio de herramienta. Para ello, como se ha indicado anteriormente, se utilizan estimaciones como la ecuación de Taylor, datos proporcionados por los proveedores de herramientas o la propia experiencia de los jefes de taller.
- Do. Se comienza la fabricación de la pieza. Se verifica aleatoriamente algunas piezas recién fabricadas, centrándose en las cotas nombradas en capítulos anteriores como de mayor riesgo. Mientras se siga mecanizando piezas conforme se sigue el proceso.
- Check. Una vez se haya verificado una pieza que tiene desviaciones respecto a la tolerancia dada, el operario debe verificar la herramienta parando la producción. El operario debe valorar si este fallo de fabricación es aislado, si se puede solucionar con una reprogramación del código

o si se debe a un desgaste de la herramienta.

- Act. Si el fallo en el mecanizado se debe al fallo de la herramienta, el operario debe cambiar la herramienta. La sustitución puede ser suficiente con un cambio de filo en caso de herramientas con varios filos o la herramienta en su totalidad y reanudar la fabricación. A partir de ahora, ya se sabe cuantas piezas ha mecanizado la herramienta dada y se puede actualizar el valor teórico que se ha tenido en cuenta al comienzo.

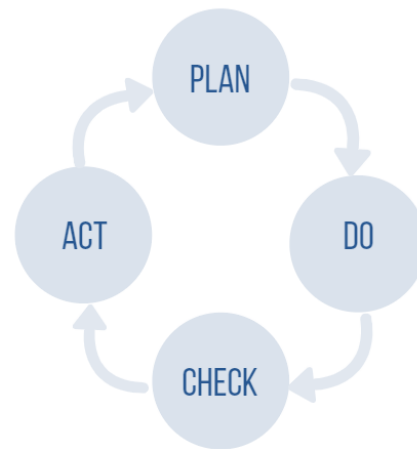


Figura 6.1 Ciclo PDCA

Conforme se vayan fabricando un mayor número de piezas de este tipo, el valor teórico de piezas fabricadas antes del fallo va a ser más real y, por tanto, se va a poder realizar el cambio de herramienta justo en el momento adecuado provocando una optimización en el uso de ella y una disminución de piezas en mal estado.

Para facilitar la labor del operario y evitar errores a la hora de contabilizar el número de piezas fabricadas, se elaboró unos documentos donde ir anotando el valor de vida de herramienta o filo. En la tabla 6.1.1 se muestra un ejemplo de una herramienta para una pieza cualquiera. En primer lugar, se muestran datos de colocación de la herramienta que se está analizando. Estos datos son la elección de la torreta (*Lower*) y la posición de la herramienta (*T0101*) dentro de esta. A continuación, se indican referencias de la herramienta para que el operario sepa de cual se está tratando. Posteriormente, se informa de que la herramienta tiene 4 filos y que cada filo debe realizar teóricamente 300 piezas. Durante la fabricación el trabajador debe anotar cada vez que cambia un filo o herramienta escribiendo la fecha, la hora, su número de identificación y el número de piezas que se ha fabricado.

La tabla 6.1.1 consta de tantas filas como sean necesarias para fabricar el pedido de piezas, es decir, si se quedan celdas sin rellenar implicará que cada filo o herramienta ha realizado más piezas de las previstas y si se necesita de más filas lo opuesto.

En este caso de ejemplo, se iban a fabricar en torno a 3600 racores, por lo que, si cada filo previsiblemente fabrica 300 racores, se necesitaría 3 herramientas.

Finalmente, como se verifica en la tabla 6.1.2, cada filo mecaniza en condiciones óptimas una media de 243,5 piezas. La próxima vez que se mecanice este tipo de racor, se deberá de prestar mayor atención a las piezas fabricadas cuando el número se vaya acercando a este valor. Habrá que intentar optimizar el valor real con cada mecanizado y de esta forma poder anteponernos y cambiar la herramienta justo antes de que el desgaste haga mella en la producción.

LOWER	T0101			
	Porta de desbaste CNMG			
Referencia	CNMG120408N-UP			
	Nº filos	Cantidad prevista piezas		
	4	300		
Cambio filo	Fecha	Hora cambio	Operario	Nº piezas
1				
2				
3				
4				
1				
2				
3				
4				
1				
2				
3				
4				
Cantidad final piezas				

Tabla 6.1.1 Tabla seguimiento de herramienta

LOWER	T0101			
	Porta de desbaste CNMG			
Referencia	CNMG120408N-UP			
	Nº filos	Cantidad prevista piezas		
	4	300		
Cambio filo	Fecha	Hora cambio	Operario	Nº piezas
1	-	-	-	253
2	-	-	-	230
3	-	-	-	243
4	-	-	-	228
1	-	-	-	251
2	-	-	-	245
3	-	-	-	243
4	-	-	-	246
1	-	-	-	242
2	-	-	-	256
3	-	-	-	238
4	-	-	-	247
Cantidad final piezas				2922

Tabla 6.1.2 Ejemplo de seguimiento de una herramienta

6.2 Estudio sobre útiles de medición

Durante el diseño de una pieza, antes de determinar unas tolerancias, hay que realizar un consenso entre el destino al que va dirigido la pieza y la forma en que va a ser verificada una vez sea fabricada. Una precisión más elevada de fabricación requiere también una forma de verificación más rigurosa, que derivará en un mayor coste de tiempo empleado.

Para que el control dimensional sea económico se utilizan aparatos que reduzcan el tiempo de medición. Algunos de ellos pueden ser los calibres. Estos útiles son fáciles de manejar y pueden ser utilizados por el personal en sus puestos de trabajo, sin tener que desplazarse al laboratorio de metrología. El punto negativo de esta forma de trabajo es que esto repercute en la conservación de los calibres. Por este motivo, debe instaurarse una metodología de calibración de calibres y de estudio de su estado.

El éxito en la medida de una dimensión depende en primer lugar del estado del aparato de medición, es decir, de la exactitud del propio aparato a la hora de medir. Las condiciones externas, como la temperatura, la presión de medición y los errores personales también influyen.

Algunas veces se realizan mediciones con un método antieconómico e inadecuado. Un ejemplo puede ser cuando al medir se hacen demasiadas reiteraciones o estas se hacen en condiciones inapropiadas y con un equipo desaconsejable. Además, en ocasiones no se tienen los conocimientos necesarios para establecer un proceso de medición de forma exacta y razonable. Por ello, es necesario constituir un método de medición para obtener unas medidas lo más exactas posibles.

Para seleccionar el aparato de medición lo primero que ha de tenerse en cuenta es que se va a medir: una longitud, un ángulo, una rosca o cualquier otra dimensión que se ha mostrado en apartados anteriores. También es importante identificar si va a ser una dimensión interior o exterior, la precisión que se ha especificado en el plano de la pieza y si se va a verificar piezas sueltas o un gran lote. Sobre este último caso, se va a tratar en el apartado 6.4 de este capítulo.

Hay dos tipos de medidas:

- Medida directa. Es aquella que se realiza cuando una escala se traslada sobre la pieza y la dimensión puede leerse directamente sobre esta escala. Por ejemplo, cuando se mide el diámetro interior de un racor con un pie de rey.
- Medida indirecta. Se refiere a la que se obtiene realizando un cálculo a partir de otras medidas directas. Por ejemplo, al medir la distancia entre el centro de dos taladros que se realiza a través de las medidas de sus diámetros y la distancia más corta entre estos taladros.

Algunos tipos de mediciones que son necesarios para estas piezas son:

- Medición de longitudes, como diámetros y distancias.
- Medición de ángulos.
- Medición de roscas.

- Medición de pasos.
- Medición de perfiles macrogeométricos.
- Medición de perfiles microgeométricos, es decir, rugosidad.

La precisión de estas medidas se logra cuando se tienen en cuenta simultáneamente todos los factores nombrados anteriormente. Por este motivo, tomando, por ejemplo, la medición de un diámetro externo de un manguito con el pie de rey, la imprecisión puede deberse a diferentes causas:

- Estado de calidad del calibre
- Calidad del aparato que ha verificado el calibre.
- Error de medición inherente a esa verificación.
- Desgaste del calibre debido al ambiente en el que se encuentra.
- Deformación tanto del manguito como del calibre debido a la presión realizada al medir.
- Influencia en la medida de la variación de la temperatura ambiente.
- Error debido a que el calibre y la pieza no contactan de forma directa, sino separados por lubricante o capa de aire.
- Cualquier error personal.

Todos estos errores los podemos englobar en dos tipos de errores: errores aleatorios y errores sistemáticos. Los primeros son fortuitos, su variación es imprevisible. Suelen estar debidos a errores personales ya que son puramente aleatorios y por ello no pueden eliminarse, pero si disminuir aumentando el numero de observaciones. Sin embargo, los errores sistemáticos permanecen constantes. Pueden deberse a un mal estado del aparato de medida o de una mala calibración de este. Estos errores se pueden eliminar si se realiza un estudio y se implanta una metodología en la calibración de los aparatos de medida para procurar que estos se encuentren siempre en unas óptimas condiciones.

Asegurar un nivel de calidad de las medidas es un modo de evitar decisiones erróneas y reducir las pérdidas económicas y temporales derivadas de productos y procesos deficientes.

Los útiles de medición pueden ser calibrados interiormente o exteriormente. La calibración interna es aquella que se realiza dentro de la empresa y por trabajadores de ella siguiendo procedimientos establecidos para ello. Sin embargo, la calibración externa consiste en subcontratar la calibración a un organismo acreditado para esta labor. Dependiendo de el uso que se le vaya a dar o del tipo de equipo de medición es aconsejable una u otra. Todos los patrones de referencia, conjuntamente con los equipos de inspección, medida y ensayo que no puedan ser calibrados y/o verificados por “taller de mecanizado” son calibrados por centros exteriores que aseguran la trazabilidad de las mediciones obtenidas. A continuación, se va a realizar un repaso a cada máquina de medición con el fin de proponer una mejora en el programa de calibración y mantenimiento.

6.2.1 Pie de Rey

Como se muestra en el listado de equipo de medición contenido en el Anexo, “taller de mecanizado” cuenta con un total de 29 pies de rey. Cada uno de ellos se encuentra en distintas zonas dentro del taller y es usado con diferentes fines. En esta tabla también se observa que la calibración que se está realizando sobre ellos es interna y anual, con bloques patrón siguiendo un procedimiento denominado internamente como *IT-04*. Algunos de ellos se encuentran en el laboratorio de metrología, pero otros son portados por los operarios en un entorno de grasas y aceites donde existe una alta probabilidad de que sufran golpes o puedan dañarse por diferentes motivos.

Como el uso de unos pies de rey es más importante en unos que en otros se propone realizar una división en dos grupos para su calibración y verificación.

Los pies de rey (tipo A) usados por los jefes de taller, el personal de la oficina técnica y del laboratorio de metrología, el encargado de las máquinas *Schutte*, los preparadores de máquinas, la máquina de *Meler* (un cliente de gran importancia para “taller de mecanizado”) y el afilador necesitan más precisión que el resto pues con ellos se han de tomar decisiones de importancia, se van a inspeccionar lotes, se va a verificar si la máquina se ha preparado correctamente etc. Por ello, deben tener un plan de calibración más exhaustivo.

Los que son utilizados por los operarios, los que se encuentran dispersados por las máquinas del taller, o los que portan los denominados “especialistas” que son aquellas personas que se encargan de recibir la materia prima y de la logística por dentro del taller (tipo B) no necesitan la misma precisión, ya que se emplean en labores como medir diámetros de barra de material prima recibida o verificación de producción de maquinaria. Además, estos pies de rey son los que más sufren las consecuencias del entorno en los que se encuentran.

Los posibles errores que se pueden cometer cuando se mide con un pie de rey son:

- Error de Abbe. El principio de Abbe establece que “la máxima exactitud puede obtenerse únicamente cuando el patrón está en línea con el eje de la pieza que está midiendo”. En el pie de rey la escala del instrumento y del eje de la pieza nunca coinciden, produciéndose este error. Si en la boca móvil tiene holgura puede producirse error de Abbe en la medición.
- Error de alineamiento. Se produce cuando a la hora de realizar la medida no se ha alineado correctamente la pieza. Es muy propenso a producirse este error a la hora de medir diámetros externos en los racores o manguitos. Este error solo puede reducirse teniendo cuidado en el momento de efectuar la medición.
- Error de cero. Este error se comete cuando se cierran las bocas de medición y el equipo no marca cero como medida. En los pies de rey digitales no existe este problema, ya que están dotados de un botón de puesta a cero. Son provocados por el uso indebido de los pies de rey, al proporcionar demasiada presión realizando las medidas.

A causa del ambiente en la que se ubican los pies de rey se considera que la periodicidad de calibración anual es insuficiente. Para mejorar el conjunto de pie de rey se plantea una calibración

semestral para unos y anual para otros con unas medidas de mantenimiento para ellos.

Los pies de rey denominados como tipo A se calibrarán semestralmente igual que se han venido calibrando anualmente con el procedimiento *IT-04* que no es sino el modo de trabajar propuesto por el CEM en el texto *Procedimiento DI-008 para la calibración de pies de rey* y que a continuación se va a detallar.

Los pies de rey que son usados por los operarios y que se encuentran en el taller (tipo B) no necesitan de tanta precisión, por lo que el procedimiento *IT-04* se va a realizar sobre ellos anualmente como se ha hecho hasta ahora, sin embargo, semestralmente se va a realizar varias comprobaciones para examinar si han sufrido algún desperfecto durante su uso.

- Para verificar si existe desgaste a causa del uso continuo en las bocas de medida se podrá utilizar un proyector de perfiles o examinar el pie de rey a contraluz con las bocas cerradas. Esta medida puede mostrar si existe error de cero.
- Mediante el uso de bloques patrón se podrá comprobar si las superficies de las bocas siguen manteniendo su paralelismo, realizando varias medidas en distintos puntos de la superficie de la boca. Para el caso de las bocas de medidas de interior se podrá usar un micrómetro. Esto revela si existe durante las medidas de piezas error de Abbe.

$$e_{Abbe} = H * \text{sen} \alpha = H * \alpha \text{ (Para ángulos pequeños)}$$

Donde:

H es la distancia de la medida a la escala del instrumento.

α es el ángulo que forma la boca del pie de rey con la perpendicular a la escala del instrument.

Cuando se realizan las medidas sobre distintos puntos de la boca, H varía y por tanto la medida que muestra el pie de rey debido al error que se está cometiendo.

- Se limpiarán periódicamente las bocas con paños y tejidos suaves que no suelten fibra junto a un líquido adecuado que puede ser una mezcla de alcohol y éter dietílico.
- Se harán una comprobación visual en busca de zonas oxidadas y se comprobará que la parte móvil se desliza correctamente y de forma fluida.

Para ambos grupos de pie de rey se realizará una calibración cuando estos se hayan caído, hayan sufrido algún golpe o se sospeche que no se encuentran en buen estado. Tanto en estos casos como cuando por periodicidad se deba de hacer una calibración se procederá tal como indica en el procedimiento interno *IT-04*.

En primer lugar, se harán las comprobaciones citadas en líneas anteriores para encontrar alguna imperfección en el pie de rey. Una vez realizadas las comprobaciones anteriores con resultado satisfactorio, se lleva a cabo la calibración de la escala de exteriores, procediendo como sigue:

1. Seleccionar diez puntos de calibración uniformemente distribuidos en el campo de medida del pie de rey.

2. Para cada punto de calibración, tomar el bloque patrón correspondiente a dicho nominal (X_o).
3. Realizar en cada punto de calibración 10 medidas del patrón, consignando en la ficha de calibración/verificación los valores obtenidos (X_i).

A continuación, se procederá a calibrar las escalas auxiliares del pie de rey, para lo cual, para las bocas de medidas de interiores hay que repetir el proceso anterior empleando como patrones anillos de diámetro interior. Para la sonda de profundidad también hay que repetir el procedimiento de calibración de exteriores. Pero en estos casos, por el menor uso de estas bocas se realizarán las medidas sobre 3 puntos de calibración diferentes.

Los cálculos a realizar en el documento de calibración/verificación serán los siguientes:

- X_m . Valor medio de las lecturas:
- Desviación del valor medio al patrón $d = |X_m - X_o|$
- S . Desviación típica experimental.
- Incertidumbre del patrón $k=2$ (Certificado de Calibración).
- Incertidumbre de medida ($k=2$) obtenida por medio de la siguiente ecuación:

$$I = \sqrt{I_o^2 + 4.4S^2}$$

En el caso en que se emplee más de un bloque patrón para constituir el nominal, se tomará como incertidumbre del patrón la suma cuadrática de la incertidumbre de los bloques empleados.

Cuando las desviaciones del instrumento al patrón ofrezcan unos valores superiores a la división de escala, el responsable de la calibración, teniendo en cuenta las condiciones de uso del instrumento, indicará las correcciones necesarias a aplicar a las mediciones, o en su caso, rechazará al instrumento si éste se considera inadmisibile.

6.2.2 Micrómetro

Según el listado de equipos de medición el taller cuenta con 9 micrómetros y salvo uno, los demás se encuentran en el laboratorio de metrología. La calibración de los micrómetros, al igual que de los pies de rey, se realizan internamente y de forma anual. Como con los pies de rey, el micrómetro del taller es usado para actividades que requieren menor importancia y podría ser considerada otra planificación de la calibración para él, pero al ser solo una unidad, se van a considerar los 9 micrómetros como un único grupo. Al encontrarse en el laboratorio de metrología y dedicarse a verificar dimensiones en la fabricación de piezas pequeñas con una precisión muy grande se propone disminuir su periodo de calibración de 1 año a 6 meses, al igual que los pies de rey.

Aparte de la calibración semestral, se recomienda un buen mantenimiento para evitar que se deteriore. Se debe limpiar las superficies del husillo, yunque, y otras partes, eliminando la viruta,

polvo y manchas de aceite que pueda tener. De no estar limpio, no se pondrán obtener mediciones correctas. Por otro lado, es importante el manejo adecuado del micrómetro. Se debe colocar la mano derecha sobre el trinquete consiguiendo que se aplique una presión adecuada sobre la pieza a medir. Inmediatamente antes de que el husillo entre en contacto con el objeto, se debe girar el trinquete suavemente hasta que el husillo haya tocado el objeto de tres a cuatro vueltas ligeras al trinquete a una velocidad uniforme. Aplicando excesiva presión, se pueden dañar los contactos.

Para la calibración, hay que comprobar que el cero está alineado. Cuando el micrómetro se utiliza a menudo o de una forma incorrecta, el punto cero del micrómetro se desalinea. Si se comprueba que esto ha sucedido, puede solucionarse con la ayuda de una llave que traen todos los micrómetros y que puede volver a alinear el cero. Si, además, el instrumento sufre una caída o algún golpe, el paralelismo y la planitud del husillo y el yunque, podrían desajustarse. Para constatar si esto ha sucedido puede realizarse mediante la comprobación visual a contraluz, uniendo el husillo con el yunque y con la ayuda de un reloj comparador milésimo.

La tabla 6.2.2 nos indica los errores de paralelismo o planitud permitidos con el uso del reloj comparador. El micrómetro será rechazado si los errores de planitud y/o paralelismo difieren de los criterios citados aquí.

Campo micrómetro (mm)	Error (μm)
0 a 75	≤ 2
75 a 175	≤ 3
175 a 275	≤ 4
275 a 375	≤ 5
375 a 475	≤ 6
> 475	≤ 7

Tabla 6.2.2 Error permitido de paralelismo/planitud

La otra fuente de fallo posible son los errores debidos al mal desplazamiento del tornillo micrométrico que producen que las medidas leídas no correspondan con la realidad. Para verificar esto, hay que realizar la calibración del aparato. Se puede proceder de la forma que se relata en el documento *IT-03*. La forma de proceder en la calibración es igual que para el pie de rey. Hay que realizar varios puntos de calibración uniformemente distribuidos en el campo de medida del micrómetro y calcular la incertidumbre del aparato. En el caso que la incertidumbre sea mayor que el doble de la escala del micrómetro, este debe ser apartado y reacondicionado para volver a ser usado.

6.2.3 Proyector de perfiles

De la lista proporcionada en el anexo sobre los equipos de medición se estipula que el proyector de perfiles se calibra externamente cada 5 años. El proyector de perfiles es utilizado en “taller de mecanizado” para medir ángulos, pero, sobre todo, para realizar mediciones que son difíciles de realizar con el pie de rey o micrométero ya sea por su forma o porque la tolerancia de diseño es más baja que la adecuada para estos útiles. Por este motivo, al trabajar con tolerancias pequeñas, se

necesita que el proyector de perfiles sea muy preciso y esté bien calibrado. Se considera que un tiempo de 5 años es excesivo. Debido a su importancia en la empresa se indica que este sea calibrado internamente por el personal de metrología una vez al año, aunque se pueda mantener la calibración externa cada 5 años.

Para realizar la calibración internamente se siguen las pautas del Centro Español de Metrología (CEM) en el “Procedimiento DI-001 para la calibración de proyector de perfiles”. A continuación, se van a definir los pasos a seguir para realizar la calibración:

1. Para desarrollar el procedimiento, primero hay que tener identificado el proyector de perfiles, algo que ya se encuentra detallado en el listado de equipos del anexo.
2. Los elementos a utilizar serán también bloques patrón, por lo que, previamente hay que acondicionarlos limpiándolos. A continuación, se dejarán próximos al proyector durante 3 horas para que se estabilicen.
3. Se indica que la calibración deberá estar desarrollada en una zona con temperatura comprendida entre los 15-25 °C. El laboratorio es una zona climatizada que siempre se encuentra a una temperatura óptima. De todas formas, es de gran ayuda un termómetro situado próximo a la mesa del proyector y un sensor de temperatura colocado sobre los bloques patrón para observar el incremento de temperatura que sufren.
4. Se debe verificar si hay error de coseno causado por el movimiento de la mesa soporte. De ser así, se deberá corregir la posición de esta. Se debe realizar según indica el fabricante, para hacer coincidir el movimiento de la mesa con las líneas de la pantalla.
5. Con la ayuda de un bloque patrón de 90° se comprueba la perpendicularidad de los ejes de la pantalla.
6. La luz de proyección debe estar apagada el máximo tiempo posible para evitar interferencias sobre la calibración.
7. Se colocan diferentes bloques patrón y se realizan diferentes mediciones de los mismos, en ambos ejes, tal y como se indica en el texto referenciado anteriormente. Se efectuarán 10 medidas de cada patrón sobre un total de 5 patrones.
8. Para calibrar la escala de medida angular se actúa de la misma forma, pero con bloques patrones angulares. Como la resolución de la pantalla es de un minuto, basta con analizar la repetibilidad de algunas medidas.

Una vez se han obtenido los datos de medición, se calculará la incertidumbre igual que para los casos de los pies de rey y de los micrómetros con el procedimiento descrito en el texto proporcionado por el CEM.

6.2.4 Calibres Pasa-No pasa

En el taller se cuenta con un numeroso conjunto de calibres tampones y anillas pasa-no pasa. Se encuentran en dos zonas diferentes. Un grupo está en un maletín en la zona de prensado y solo es utilizado para comprobar que tipo de pieza es cada lote que llega para ser prensado. El otro grupo

se encuentra en el laboratorio de metrología en un armario con cajones. Cuando se prepara una máquina, el operario solicita los calibres que necesita para llevar a cabo la verificación de piezas y son extraídos del laboratorio para ser llevados a taller. En el taller están en constante contacto con aceite y viruta, además de estar expuestos a probables golpes. Al finalizar la inspección de las piezas son devueltos al laboratorio sin ser limpiados correctamente, por lo que, los cajones se encuentran en un estado poco deseable, llenos de aceite y otros fluidos que dañan los calibres.

La primera medida a tomar debe ser limpiar los cajones y calibres con paños o telas que no suelten fibras y con un fluido de alcohol que aumente la durabilidad de estos equipos. A continuación, se debe realizar una inspección visual sobre el marcado de cada calibre que evite la confusión entre calibres de similares dimensiones.

Según el listado de equipos, se realizaban verificaciones a los calibres anualmente para los de la zona de prensado y cada 2 años para los otros. Los que se encuentran en el laboratorio son usados tanto en el taller, donde pueden ser golpeados o ser forzados al introducirse en algún diámetro interno que pueda dañarlos, como en el laboratorio para verificación final de piezas. El buen estado de los calibres es, por tanto, fundamental. Se propone que estos calibres también sean verificados internamente cada año. La verificación se va a realizar con la ayuda de pies de rey y proyector de perfiles que, a su vez, son calibrados con bloques patrón. La incertidumbre aumenta por este motivo, y es por ello, que también se propone una calibración externa de los calibres pasa-no pasa cada 5 años. Las verificaciones internas que se deben efectuar se centran en verificar el diámetro externo que es el que más sufre debido al introducir con excesiva presión el lado pasa y para ello, se procede de la siguiente forma:

1. Realizar una medida con el pie de rey del diámetro del cilindro del lado pasa a $1/4$ del extremo aproximadamente, y otra medida en la misma generatriz del punto anterior, a $3/4$ del extremo aproximadamente.
2. Girar 90° el calibre y realizar una medida del diámetro en el punto medio del cilindro del lado pasa.

Como valor de desviación del lado pasa se tomará el máximo valor obtenido de las 3 mediciones realizadas. A continuación, se repite el procedimiento anterior en el lado no pasa.

En el caso de que sea un calibre de rosca, se coloca la rosca sobre el proyector de perfiles. Por un lado, se mide el diámetro interior de varios pasos, por otro, se enrasa a cero en el primer paso y se mide hasta el último paso. Dividiendo la medida entre el número de pasos se obtiene la media del paso. Se le asigna la incertidumbre de medida del proyector de perfiles.

Llevando a cabo estas verificaciones de forma anual, el taller tiene la certeza de que los calibres son aptos para verificar las piezas.

6.2.5 Reloj comparador

En “taller de mecanizado” se disponen 10 relojes comparadores según nos muestra la tabla 9.1 del anexo. Como ocurre con los micrómetros, todos, excepto uno que se encuentra en el taller, se localizan en el laboratorio de metrología. La calibración planificada para ellos es interna y anual. La

función del reloj comparador en este taller y para las piezas de estudio, es medir la concentricidad cuando el cliente solicita una IPA o para alguna medida concreta en una pieza aislada. Si al poco uso que se le da, se le une que se encuentran guardados en buen lugar en el laboratorio de metrología, se considera que la calibración anual es óptima.

Aparte de la propia calibración hay que tener algunas apreciaciones visuales para observar si el reloj comparador se encuentra en un buen estado como, por ejemplo, el contacto de medida o la escala, así como verificar si el deslizamiento del contacto es suave y uniforme.

La calibración de este aparato será similar a las realizadas anteriormente. Se necesitan 6 bloques patrón que formen 5 escalones donde efectuar las medidas.

1. Colocar el bloque que se utilizará permanentemente como patrón de puesta a cero.
2. Ajustar a cero la escala del comparador y retirando este bloque se colocará el primer bloque de los que se prepararon para los 5 saltos. A continuación, se colocará otra vez el patrón de puesta a cero y se realizará la misma operación con el siguiente escalón y así hasta completar los cinco escalones.
3. El número de mediciones que se realizará en cada salto será de cinco, siendo todas realizadas en la zona central de las caras de medida de los bloques.

Cuando se han recogido todas las medidas se calcula la incertidumbre igual que en casos anteriores. Si la incertidumbre es menor que 2 veces la escala se considera de calidad 1, si es menor que 2.5 veces la escala, es catalogado como de calidad 2. Si la incertidumbre es mayor, el reloj comparador es no conforme y es apartado hasta su reparación.

6.2.6 Durómetro

El durómetro Rockwell que se halla en metrología es calibrado externamente cada 10 años. Este aparato tiene un uso limitado en el taller debido a que la materia prima con la que se trabaja y los procesos de mecanizado que se realizan son ya bien conocidos, por tanto, la dureza del material de las piezas fabricadas es sabida. Solo es usado cuando se ha trabajado con material de nueva procedencia. A causa de su poco uso en la actualidad, se estima que una década es una buena periodicidad para su calibración. Respecto a la decisión de adoptar una calibración interna en lugar de la externa que se ha venido haciendo, se necesitaría de 5 o 6 patrones de dureza, los cuales no se disponen en “taller de mecanizado”. Estos patrones son de un valor aproximado de 600 euros cada uno, para una calibración que se va ejecutar una vez cada 10 años. Por eso, se determina proseguir con la calibración externa.

6.2.7 Rugosímetro

Con el rugosímetro ocurre un hecho similar al del durómetro. Su uso en el taller está en decadencia debido a la repetitividad de los productos fabricados y de la materia prima. La rugosidad de lo fabricado es aproximadamente conocida, por tanto, la calibración cada década es óptima. Para su calibración interna son necesarios varios bloques patrón de rugosidad de un coste de 250 € la unidad próximamente. Por los mismos motivos que para el durómetro, la calibración externa se

valora como lo más adecuado.

6.2.8 Brazo tridimensional

El brazo tridimensional del que se dispone en “taller de mecanizado” se encuentra en el laboratorio de metrología y es calibrado externamente por el propio fabricante cada lustro. Su uso es mínimo, ya que está destinado a posibles encargos de clientes de piezas muy complicadas. Para verificación de racores, tuercas o manguitos, que son las piezas que se están analizando en este estudio, la utilidad del brazo de medición es nula. Por este motivo se considera que la calibración cada 5 años es adecuada. Además, es el periodo de calibración que propone el fabricante del brazo de medición. También se estima adecuado que la calibración sea externa y por parte del fabricante debido a la complejidad que supone su calibración.

6.2.9 Bloques patrón

En la empresa existen 2 juegos de bloques patrón que se encuentran en sus estuches de madera. Son piezas de precisión y, como tal, requieren un extremo cuidado tanto en su almacenamiento como su uso. Ambos se encuentran en sala con una temperatura aproximada de 20 °C, alejados de ambientes polvorientos y corrosivos como lo es el propio taller, fuera del alcance de la luz solar, radiación o campos magnéticos.

Durante su uso, no siempre ocurre que se trabaje sobre superficies blandas y se utilice guantes. Además, se deben limpiar y lubricar siempre antes y después de su uso. Por otro lado, si es necesario hacer acomplamientos no deben ser forzados, ni tenerlos mucho rato en la mano.

Siguiendo todas estas recomendaciones, la vida útil de los bloques patrón es muy grande. La periodicidad de 10-15 años para una nueva calibración se considera la adecuada. Asimismo, este valor temporal de calibración es información aportada por el agente calibrador externo.

Los bloques patrón son usados en el taller como patrón de referencia para realizar calibraciones, por tanto, para la calibración de estos es necesario un elemento externo como patrón. De esta forma, la calibración externa es necesaria para este equipo.

Globamente, cualquier equipo de medición que se confirme que está dañado, funciona incorrectamente, produce resultados de medición incorrectos o ha sido tratado erróneamente debe ser apartado del funcionamiento de la empresa, identificándolo con una etiqueta de color rojo, para ser reparado. El equipo no puede ser reintegrado al servicio hasta que se haya eliminado la no conformidad. El equipo que no pueda ser reacondicionado debe ser desechado por la empresa, de forma que, no pueda volver a ser usado.

Los responsables de metrología de “taller de mecanizado” deben programar y gestionar la mejora continua del sistema de metrología implantado basándose en los resultados de auditorías, en sus propias revisiones y en las opiniones de los clientes, aumentando así, el sistema de calidad de verificación de la empresa.

6.3 Solución al problema del cincado

Como se ha indicado anteriormente, el cincado es un proceso en el que las piezas metálicas adquieren una capa de zinc para prevenir la corrosión que se producen al estar en contacto con el aire y la humedad.

Este proceso es subcontratado en “taller de mecanizado” provocando que la influencia de este en la mejora del proceso en sí no es total. La mayor influencia que se puede tener es la elección de la empresa subcontratada que se adapte mejor a los productos, tanto desde el punto de vista de la calidad como del económico. Sin embargo, se pueden llevar a cabo ciertas pautas que hagan que el proceso mejore y aumente la calidad de las piezas.

En primer lugar, se va a realizar un breve resumen sobre el proceso para tener una visión más global del problema.

En el cincado electrolítico, las piezas estudiadas son sumergidas en un baño de zinc. Para ello se utilizan dos electrodos en el baño: un ánodo (positivo) y un cátodo (negativo) que son las piezas que van a ser cubiertas de zinc, a las que se les aplica corriente. En el baño se disuelve el zinc (Zn^{2+}) junto con sales, normalmente NaOH, para aumentar la conducción. Debido a la corriente eléctrica inducida, el zinc se reduce en el cátodo y se va asentando progresivamente sobre la superficie de las piezas.

Según sea el tamaño de las piezas, el proceso se realiza de una u otra forma. Si se trata de elementos pequeños, como son generalmente la mayoría de las tuercas o algunos racores y manguitos se introducen en tambores rotativos en cuyo interior se encuentra el baño de zinc. Esta forma de trabajar, puede provocar que con el movimiento rotativo algunas piezas puedan ser dañadas por la colisión entre ellas o con las paredes. Además, debido al movimiento puede provocar que en algunas zonas interiores o cavidades pequeñas el fluido no llegue de forma adecuada y no adquiera el suficiente espesor de zinc. Esto es un problema bastante recurrente en la empresa, sobre todo en las roscas tanto de tuercas como de racores y en las zonas interiores de estos. Para piezas de mayor tamaño o que necesiten un mejor tratamiento se usa el cincado en bastidor. Los productos se cuelgan en los bastidores que tienen una forma adecuada para sujetar cada tipo de pieza y se sumergen en el fluido.

Debido a la forma en que se realiza el proceso, el espesor de zinc es difícil de graduar. Depende más del tipo de composición del metal que del propio proceso de cincado. En “taller de mecanizado” se fabrican piezas en diferentes tipos de metal, incluso diferentes tipos de acero. Como para cada tipo de material el espesor de zinc logrado va a variar, se recomienda realizar unas pruebas de cincado para cada tipo de material y crear posteriormente un pequeño registro de datos. Llegada la hora de diseñar un tipo de pieza, en un tipo de material, se le pueden dar las dimensiones adecuadas según las experiencias anteriores. Con esto se consigue que con el espesor de zinc que va a adquirir la pieza quede dentro de las tolerancias permitidas. Además, los productos deben ser diseñados, según la norma UNE-EN ISO 14713, de forma que se facilite el acceso y el drenaje del fluido de zinc para evitar bolsas de aire.

Cuando las piezas estén fabricadas, antes de ser enviadas a la empresa de cincado, se deben lavar en el baño de electrolisis del taller para eliminar las impurezas y los oxidos que provoquen que el cincado no sea el deseado. Una superficie lisa y no oxidada provoca que el espesor de cincado de la pieza sea menor.

Una vez las piezas cincadas sean devueltas a “taller de mecanizado” se podría realizar una inspección de aceptación y toma de muestras según ordena la norma UNE-EN ISO 1461:2010. Anteriormente, se observaban varias aleatoriamente y si aparentemente eran correctas se daba el lote por óptimo.

Conforme a esta norma, la inspección comprende tanto la valoración del aspecto como el análisis del espesor de zinc y las dimensiones de la pieza. Sin embargo, la experiencia en el taller indica que el tamaño de la muestra y el número mínimo de aceptación son insuficientes, por lo que se realiza la siguiente propuesta de inspección por muestreo.

Número de piezas en el lote	Número mínimo de piezas en el muestreo según norma	Propuesta de tamaño de muestra
1 a 3	Todas	Todas
4 a 500	3	15
501 a 1200	5	25
1201 a 3200	8	40
3201 a 10000	13	65
>10000	20	100

Tabla 6.3 Muestreo de inspección de aceptación para cincado

Si el número de piezas con dimensiones fuera de tolerancia o con cincado en mal estado es superior al número mínimo aceptable se debe tomar el doble de la muestra y si vuelve a suceder habrá que analizar el lote completo y extraer las piezas defectuosas.

En la inspección de aceptación deben descartarse las piezas con nódulos, ampollas, rugosidades y puntos punzantes. Aunque la estética del cincado juega un papel secundario desde el punto de vista funcional, para el cliente de “taller de mecanizado” suele ser un valor importante. Por lo tanto, hay que prestar atención tanto a los elementos citados anteriormente como a factores estéticos que provoquen la insatisfacción de los clientes.

Ocasionalmente, las piezas cincadas pueden tener manchas más oscuras o más claras, generalmente, estas manchas no deben suponer un motivo de rechazo, pero es conveniente prevenirlas por estética. Un tipo de mancha blanca muy común en piezas cincadas es debido a la humedad. Por lo general, se pueden limpiar cuando están secas mediante un frotado suave con cepillo de cerdas y se puede evitar que salgan más dejando bien aireadas cada una de las piezas que se hayan visto afectadas por este efecto. Si interesa eliminar las manchas, que son producidas por hidróxido de zinc, se debe proceder a limpiarlas con una solución ácida muy débil o diluida, como puede ser el ácido cítrico. Se aconseja hacer una prueba en una parte de la pieza no muy visible. Dependiendo del brillo de la superficie adyacente quedará bastante disimulada pero difícilmente se elimina por completo. El tiempo que pasa entre que las piezas llegan del cincado

hasta que son enviadas a los clientes del taller, las piezas se encuentran en cubas metálicas que pueden estar cubiertas por lonas o plástico. Para prevenir la aparición de las manchas blancas se propone abrir el envoltorio de forma que el aire del interior no condense y aumente los problemas de las manchas debido a la humedad. Aunque estas manchas no inhiben el carácter protector del acero cincado son estéticamente desaconsejables, razón que no justifica su rechazo de acuerdo a la norma ISO 1461.

Teóricamente, los espesores de zinc que se consiguen son de 20 μm aproximadamente. La experiencia en “taller de mecanizado” indica que no siempre es así. Si esto se cumpliera siempre, haría imposible que una pieza que haya sido enviada al cincado dentro de tolerancias volviera con unas dimensiones no deseadas porque las tolerancias con las que se trabajan en esta empresa están entorno a los 0,1 mm. Como se ha dicho anteriormente, el espesor del recubrimiento depende del grosor, de la rugosidad, de la composición y el diseño del acero que se esté cincado. Por lo tanto, aunque la experiencia ayude a ir considerando qué dimensiones otorgarle a la pieza mecanizada, es inevitable recibir piezas del cincado fuera de tolerancias.

Es muy común en “taller de mecanizado” recibir piezas, ya sean racores o tuercas, donde la rosca ha adquirido mas espesor del esperado. Cuando se verifica esta con un tampón de rosca pasa/no pasa, el lado que debe introducirse no puede roscarse o cuesta excesivo trabajo. Un recurso sencillo es introducir un macho de roscar en la rosca e imprimirle varios golpes leves a la pieza para que se desprenda la capa más superficial de zinc.

Si la capa excesiva no se puede eliminar de la anterior forma, se podría remecanizar la pieza. Se recomienda realizar este proceso solo en el caso de piezas de alto valor, o que sean realmente complicadas de volver a construir. Si no es así, normalmente sale más caro este proceso que una pieza nueva porque habría que parar la producción y preparar la máquina.

En otros casos se esperaba que la pieza adquiriera más zinc, y no ha sido así. Estas piezas se recomiendan sean devueltas a la empresa subcontratada para volver a ser tratadas.

Con estas pautas, se puede disminuir el coste del proceso de cincado, ya que se desechan menos piezas, y aumentar la calidad de nuestro producto.

6.4 Estudio sobre planes de muestreo

El estudio por muestreo se implantó por primera en tiempos de la Segunda Guerra Mundial para inspeccionar lotes de suministros militares. Surgió de la necesidad de realizar una inspección eficaz y seguro que no hiciera necesario la inspección del 100% de los elementos, pero que a su vez garantizara una buena calidad de estos. El ejercito estadounidense perfeccionó esta metodología que fue acatada por la Organización Internacional de Normalización recogiénolas en las normas internacionales ISO 2859-1 e ISO 2859-2. Estas normas son muy conocidas y propagadas en cualquier ámbito de la industria.

El principal objetivo de estos planes de inspección es reducir el número de productos defectuosos, algo esencial para mejorar el sistema de calidad de la empresa. El control de piezas puede realizarse

tanto sobre productos propios como para productos adquiridos a otros proveedores cuyas piezas van a formar parte del proceso productivo de la empresa.

En primer lugar, es conveniente definir los términos de no conformidad y defecto, pues van a ser muy utilizados en las siguientes líneas. Por un lado, no conformidad se refiere a un incumplimiento de un requisito especificado, por tanto, un elemento no conforme es aquel que contiene una o más no conformidades. Por otro lado, defecto es el incumplimiento de un requisito asociado a un uso previsto. Existen 3 tipos de defectos:

- Críticos. Impiden el funcionamiento del producto final que causan situaciones de riesgo o inseguridad en el uso. Por ejemplo, un taladro interior de una tuerca menor del indicado imposibilita el montaje junto al racor.
- Mayores. No son críticos, pero generan fallos, averías o disminuyen la eficacia del producto. Una rosca de una tuerca o un racor con defecto puede hacer perder eficacia en el montaje.
- Menores. No afectan de manera sensible al funcionamiento del producto. Por ejemplo, el diámetro externo de un manguito.

La norma ISO 2859-1 pormenoriza métodos de muestreo a través del Límite de Calidad de Aceptación (LCA) que no es otra cosa que el porcentaje de piezas no conformes que se acepta. Esta norma está descrita para inspeccionar un conjunto de lotes formados todos ellos por piezas provenientes del mismo proceso de fabricación y material. Por otro lado, la norma ISO 2859-2 trata sobre planes de muestreo en el caso de que solo exista un único lote.

Un lote es un conjunto de piezas conjuntados para ser enviado a cliente. Este debe ser homogéneo, es decir, como se ha dicho anteriormente, debe estar formado por piezas provenientes de un origen común (proceso, máquinas, operarios). Desde el punto de vista del muestreo, es preferible un lote de gran tamaño, ya que, el resultado de la inspección suele ser más exitoso.

La determinación del LCA es también un punto importante para la realización de la inspección. Los clientes asumen lotes con un porcentaje de piezas no conformes. Este valor se conoce como el Límite de Calidad de Aceptación. El LCA debe determinarse en función de la criticidad de la pieza que se está inspeccionando. También depende según el fin al que vayan destinadas las piezas y según la opinión del cliente. De modo que cuanto más crítica sea la pieza a inspeccionar más pequeño debe ser el valor del LCA. De todas formas, hay que proceder de forma que los lotes enviados al cliente tengan una calidad ligeramente superior al LCA, ya que sino, el nivel de rechazo sería más elevado. Este valor, por tanto, indica una pauta para el fabricante relativo al nivel de calidad que es necesario para fabricar satisfaciendo al cliente. El LCA se suele expresar en valores de porcentaje (0,5 %, 2 %, 3 % ...), cuanto más elevado es el valor del porcentaje más pobre es la calidad del lote. Es obvio remarcar que un lote con un LCA de un 1% es de mayor calidad que otro con un valor de LCA de 2%. El cliente debe ser consciente de que es probable que algún lote puede tener más piezas defectuosas que las que se indica el valor de LCA. Pero conjugando este lote con otros, la media de piezas defectuosas es menor que la del LCA. A este valor se le llama TLCA y puede tener el mismo valor que el LCA o diferente.

La empresa “taller de mecanizado” va utilizar estos procedimientos de muestreo para confirmar que el envío al cliente tendrá una calidad aceptable. Hay que tener en cuenta que no existen recursos financieros infinitos y que en el coste de la pieza debe ir incluido el coste de inspección. Por tanto, la inspección por muestreo provoca un menor trabajo de inspección, un menor coste y una firmeza en la calidad del producto que es enviado al cliente. Antes de profundizar en el estudio de este método de muestreo, se va a detallar otros tipos de muestreo existentes y el porqué de su uso no conveniente.

Uno de los métodos de muestreo más utilizados en la industria es el muestreo “ad hoc”. Se refiere a la inspección de un porcentaje fijado previamente. Por ejemplo, para un lote de racores de boquilla de un tamaño cualquiera de 500 unidades, se decide un porcentaje de muestreo de 10% sin ningún motivo previo. Este método produce riesgos demasiados altos y desconocidos, por lo que se desaconseja su uso.

Otro método usado en industria es el muestreo 100%. Solo es aconsejable en ciertos escenarios, como, por ejemplo, que la inspección sea automatizada y sean elementos con pocas dimensiones a inspeccionar o que estas estén suficientemente diferenciadas para evitar errores del mecanismo automatizado. Como punto a favor, la inspección automatizada, destaca la independencia del factor humano. Sin embargo, el coste económico es muy elevado y es desaconsejable en muchas industrias como en “taller de mecanizado”. Hay ocasiones, en las que el muestreo 100% es inevitable, como cuando un lote es devuelto al taller por no conformidad. En estos casos, es recomendable el muestreo 100% para garantizar que el nuevo envío del lote al cliente tiene la calidad garantizada.

También existe un método basado en la propia experiencia del responsable de verificación. Es el utilizado en “taller de mecanizado”. Debido a los años de experiencia está establecido un plan de muestreo que ya se mostró en la tabla 2.3.1 y que usualmente puede ser variado según interés propio del producto o de el estado del taller.

El muestreo que se propone en las siguientes líneas y que se considera el óptimo para este proceso industrial es el que se establece en la norma ISO 2859, como se ha venido citando. A continuación, se va a proceder a desarrollar este método.

En primer lugar, hay que formar los lotes. Estos deben estar formados por piezas del mismo tipo, composición y modo de fabricación. Una vez se tengan formado los lotes, y decidido el número de elementos que se deben extraer se procede a la extracción de la muestra. Las unidades que forman la muestra deben ser extraídas del lote al azar. Estas pueden ser extraídas ya sea cuando se ha formado el lote o en el proceso de formación, es decir, una vez se ha terminado el mecanizado de todo el lote o durante el mecanizado. Se recomienda esta última opción, ya que, permite parar la producción en el caso de que se advierta un fallo, como por ejemplo el desgaste de una herramienta, que esté provocando la fabricación de piezas no conformes.

La norma diferencia 3 tipos de inspección: normal, rigurosa o reducida. Se recomienda empezar con una inspección normal, a menos que existan motivos para indicar lo contrario. Se debe continuar de esta forma de proceder excepto cuando los procedimientos de cambio que se explicará más

adelante indiquen un cambio de tipo de inspección.

Se aconseja cambiar de inspección normal a rigurosa cuando en 5 lotes examinados, 2 sean no conformes y volver a una inspección normal cuando se examinen 5 lotes y sean conformes. Sin embargo, si realizando una inspección normal se puede pasar a una inspección reducida si se dan alguno de los siguientes casos:

- El puntaje de cambio, un valor que se explicará más adelante, es mayor o igual a 30.
- La producción esté en estado estable y la inspección reducida sea considerada aconsejable por el responsable de metrología de la oficina técnica de “taller de mecanizado”.

Una vez se esté realizando una inspección reducida, se debe pasar a una inspección normal si uno de los lotes es no conforme, la producción es irregular o el responsable decide volver a la inspección normal.

Si durante una inspección rigurosa, 5 lotes consecutivos son considerados no conformes, se debe parar la inspección y la producción hasta que se hayan tomado las acciones necesarias para mejorar el producto. Para ilustrar los pasos de un tipo de inspección a otro se muestra la Figura 6.4.1.

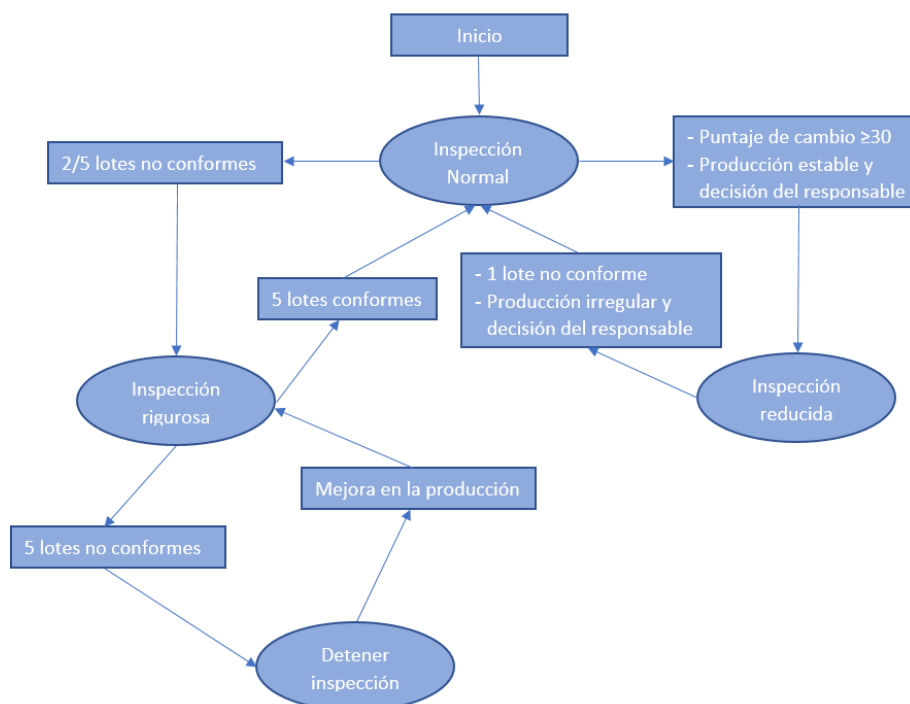


Figura 6.4.1 Cambios de tipo de inspección

El puntaje de cambio es un índice que se usa durante la inspección normal que permite validar el cambio de una inspección normal a reducida. Al comienzo de la inspección este valor es 0 y va variando conforme se van inspeccionando los diferentes lotes.

- Si el número de aceptación, es decir, el número de piezas no conformes que se admiten en el lote es igual o mayor a 2, se añade 3 al puntaje de cambio si el lote es aceptado, sino el puntaje de cambio se vuelve 0.

- Cuando el número de aceptación es 0 o 1, se le suma al puntaje de cambio 2 puntos si el lote es conforme. Si esto no se cumple, el valor del puntaje de cambio es 0.

A continuación, es necesario definir el concepto nivel de inspección. Este término sirve para indicar la cantidad relativa de inspección, es decir, sirve para relacionar el calado de la inspección con el tamaño de la muestra a inspeccionar. Hay tres niveles de inspección I, II y III, de menor a mayor tamaño de la muestra. Salvo contraindicación, es conveniente usar el nivel II de inspección. El nivel I puede ser usado cuando con una muestra menor se esta seguro de que la inspección es segura o cuando no se exija una tolerancia estrecha, como en el caso de los diámetros externos de manguitos y el nivel III cuando se necesite de una muestra mayor y se deba ser mas exigente con la dimensión a inspeccionar. Un ejemplo de nivel III puede ser los alojamientos de los racores o el diámetro interior de los taladros de las tuercas de engargolar que se reconoció como fuentes principales de errores. El nivel de inspección precisado para cada tipo de pieza es decisión del responsable de la oficina técnica de “taller de mecanizado” según la experiencia en fabricaciones anteriores de la pieza o de piezas similares.

Hay que resaltar que el nivel de inspección no guarda relación con las reglas del cambio de tipo de inspección. Son términos independientes y si, durante la inspección, se varía el tipo de inspección, el nivel de inspección se ha de mantener constante durante toda ella.

Con la información del número de unidades del lote y el nivel de inspección elegido, se debe utilizar la tabla 6.4.1 para obtener una letra que está relacionada con el tamaño de la muestra que se debe extraer del lote para ser inspeccionada.

Tamaño del lote	Nivel de inspección		
	I	II	III
2 a 8	A	A	B
9 a 15	A	B	C
16 a 25	B	C	D
26 a 50	C	D	E
51 a 90	C	E	F
91 a 150	D	F	G
151 a 280	E	G	H
281 a 500	F	H	J
501 a 1200	G	J	K
1201 a 3200	H	K	L
3201 a 10000	J	L	M
10001 a 35000	K	M	N
35001 a 150000	L	N	P
150001 a 500000	M	P	Q
más de 500000	N	Q	R

Tabla 6.4.1 Letras código del tamaño de la muestra

Con el LCA acordado entre cliente y proveedor y la tabla 6.4.1 se deben usar las tablas 9.2, 9.3 y 9.4 incluidas en los anexos. La elección de esta tabla nos permite obtener el plan de muestreo para

nuestros lotes. La tabla nos indica el número de no conformidades que es aceptado por cada muestra del lote, es decir, si el número de piezas no conformes es igual o menor que el que nos indica el plan de muestreo, el lote debe ser aceptado. En caso contrario, se debe rechazar el lote.

Estos planes son los denominados como simples. Sin embargo, también existen planes de muestreo doble. Estos planes de muestreo se basan en la extracción de dos muestras para calificar un lote como apto o no. Debido a esto último, estos planes son más costosos desde el punto de vista temporal, pues se debe hacer el doble de trabajo, pero la fiabilidad de conformidad del lote inspeccionado es mayor. Estos planes solo deben ser usados cuando el responsable del departamento técnico lo estime conveniente por necesidad de una alta solidez en la calidad del lote.

Para llevar a cabo los planes de muestreo doble es necesario usar la tabla 6.4.1 y a partir del tamaño del lote seleccionar una letra de tamaño de muestra. A continuación, se usan las tablas 9.5, 9.6 y 9.7 recogidas en los anexos. Con el valor de LCA y la letra se entra en la tabla se extrae la primera muestra y se inspecciona. Si el número de no conformidades es igual o menor que el número de no conformidades aceptables se da el lote por bueno, si es mayor o igual que el número de no conformidades rechazables el lote se rechaza, pero en el caso de que el número de piezas no aptas se encuentra entre el valor de aceptables y de rechazables se debe extraer una segunda muestra igual a la anterior donde se debe acumular a las anteriores el número de no conformidades que se vayan hallando. Si la suma de ambos es menor o igual que el número de no conformidades aceptadas se considera el lote apto.

Una vez se han inspeccionado todos los lotes, surge la necesidad de saber que hacer con los que no han sido aceptados. Las piezas no conformes pueden tener diferente futuro. Por un lado, pueden ser desechadas del proceso productivo y reemplazadas por otras fabricadas. Por otro lado, si el error es subsanable, deben ser reprocesadas si el coste del reprocesamiento no es mayor que el que implicaría reemplazarla por otra pieza. Cuando se tiene nuevamente formado el lote, se recomienda realizar una nueva inspección para obtener la validez del lote.

		REV	FECHA	MODIF.	PAUTA DE CONTROL			Ref.:	Denominación:		
		00	05/02/19					300-05AI		Manguito prensar R-5 5/16"	
		Nº ORDEN DE FABRICACIÓN								Cliente:	
		160.010729						Nivel Plano:		A	
Nº	PROCESO/PARÁMETRO	Frc.	Respons.	Instrumento	REGISTRO DE DATOS					Ctrl. Final	
	TORNEADO				C.N. NAKA						
1	Ø EXTERIOR	25	OP	PIE DE REY							
	21,3+0,1										
2	Ø INTERIOR PESTAÑAS	10	OP	CALIBRE TAMPÓN							
	17,4+0,15										
3	Ø ENTRADA MANGUERA	10	OP	CALIBRE TAMPÓN							
	19,3+0,15										
4	Ø PESTAÑA PRENSADO	10	OP	CALIBRE TAMPÓN							
	12,8+0,15										
5	ANCHO PESTAÑA PRENS.	6	OP	PIE DE REY							
	2,4-0,1										
FECHA / HORA											
VERIFICADO POR											

Figura 6.4.2 Ejemplo de documento de inspección

A continuación, se va a realizar un ejemplo del uso de la norma ISO 2859-1 para un elemento de “taller de mecanizado”. La pieza a inspeccionar es un manguito de prensar del cual se fabricaron 3000 unidades divididas en 6 lotes de 500 piezas. El documento realizado para llevar a cabo la inspección se observa en la Figura 6.4.2. El documento nos indica que se debe realizar la inspección de 5 dimensiones. El diámetro exterior del manguito no es una dimensión crítica, mientras que el ancho de prensado si lo es, pues es muy importante a la hora de realizar el conjunto del latiguillo. Los otros tres diámetros tienen una importancia neutral.


De acuerdo a lo anterior, se elige un nivel de inspección para el diámetro exterior de valor I, al ancho de la pestaña de prensar III y al resto de dimensiones II. Según la tabla 6.4.1 las letras código del tamaño de la muestra que les corresponde a cada dimensión de un lote de 500 unidades con los niveles de inspección citados para cada una son los siguientes:

- Diámetro exterior: F
- Diámetro interior pestañas, diámetro entrada manguera y diámetro pestaña prensado: H
- Ancho pestaña de prensado: J

Si el responsable de la oficina técnica no indica lo contrario se debe comenzar con una inspección normal. Por ello, utilizamos la tabla 9.2 contenida en los anexos. Esta tabla nos indica que el tamaño de la muestra para el diámetro exterior es de 20 unidades, del ancho de pestaña 80 unidades y del resto de dimensiones 50 unidades, por tanto, la frecuencia de fabricación por la que hay que inspeccionar una pieza es de 25, 6 y 10 respectivamente, como queda reflejado en el documento de inspección.

Cuando ya se ha extraído la muestra y se ha inspeccionado es el momento de dar el lote como conforme. Teniendo en cuenta que se ha definido un valor de LCA de 1,5% con el cliente, usando la tabla 9.2 como se observa en la Figura 6.4.3 que para que el lote sea válido debe haber como máximo el siguiente número de piezas no conformes para cada dimensión:

- Diámetro exterior: 1 no conformidad en la muestra de 20 unidades es aceptado.
- Diámetro interior pestañas, diámetro entrada manguera y diámetro pestaña prensado: Se acepta 2 no conformidades para la muestra de 50 unidades.
- Ancho pestaña de prensado: Con una muestra de 80 unidades, se admiten 3 no conformidades.



Letra tamaño de la muestra	Tamaño muestra	Límite de Calidad de Aceptación (LCA) en porcentaje de elementos no conformes												
		0,01	0,025	0,04	0,1	0,15	0,25	0,4	0,65	1	1,5	2,5	4	6,5
A	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
D	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
E	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
F	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3
G	32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5
H	50	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	7
J	80	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	7	10
K	125	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	7	10	14

Figura 6.4.3 Ejemplo inspección con tabla 9.2

Si durante la inspección de los lotes se debe cambiar de tipo de inspección según lo establecido en la Figura 6.4.1 se debe cambiar de tabla y cambiar el tamaño de muestra y de no conformidades admitidas por muestra.

Este ejemplo ha sido realizado con un muestreo simple, si se decide realizar un muestreo doble se debe trabajar de la misma forma, como se ha explicado anteriormente, pero usando las tablas 9.5, 9.6 y 9.7.

En otras ocasiones es conveniente realizar la inspección en lotes individuales por lo que lo aplicado en la norma ISO 2859-1 pierde valor. Para estos casos es más recomendable el uso de la norma ISO 2859-2. Este sistema de muestreo se usa para cuando no es posible usar las reglas de cambio citadas anteriormente, por ejemplo, en un lote de tuercas de 2500 unidades que van al mismo cliente en el mismo lote. La finalidad de esta norma es la de complementar a la anterior.

Este sistema se rige mediante una serie de valores denominado Calidad Límite (CL), que es también como en el caso de LCA, un riesgo para el cliente y que normalmente suele ser inferior al 10-13%. Aunque no son lo mismo, pueden guardar cierta relación. Se propone una relación en la que $CL = k * LCA$, donde $k \approx 3$. Aparentemente podría parecer que esto implicaría una calidad peor, ya que, cuanto mayor es el valor de CL menor es la calidad, pero según está definida la tabla 6.4.2 que es usada para realizar la inspección con la ISO 2859-2 el tamaño de la muestra y del valor de aceptación es similar que para la ISO 2859-1.

Los planes de la norma ISO 2859-2 están definidos conforme a los planes de muestreo simple con una inspección normal de la norma ISO 2859-1. La norma ISO 2859-2 ofrece dos procedimientos denominados *procedimiento A* y *procedimiento B*. El primero de ellos se refiere a cuando, tanto por el productor como por el cliente, se considera el lote aislado. Sin embargo, el procedimiento B, el cliente considera el lote como aislado, pero el fabricante no. Desde la experiencia implantando esta norma en industria se recomienda la aplicación del procedimiento A por su sencillez de empleo y su fiabilidad.

Conociendo el tamaño del lote y el valor decidido de CL, se debe hacer uso de la tabla 6.4.2. Entrando con estos dos parámetros la tabla nos proporciona el tamaño de la muestra a extraer y el valor de piezas no conformes que se aceptan por cada muestreo (A_c).

Hay que reseñar que observando la tabla existen casos donde el tamaño de la muestra (n) es mayor que el tamaño del lote. En estos casos hay que realizar un muestreo 100% para el lote completo.

A continuación, se va a acometer la misma inspección sobre el mismo elemento que en el anterior ejemplo, un manguito de prensar. La única diferencia es que, en este caso, las 3000 unidades constituyen un mismo y único lote, por ello, es aconsejable el uso del plan de muestreo propuesto por la ISO 2859-2. En el anterior caso se tomó un LCA de valor 1,5. Siguiendo la recomendación para la obtención de CL, se toma un valor de 5, que es aproximadamente tres veces el valor de LCA. Entrando en la tabla 6.4.2 con estos valores se obtiene que la muestra a extraer debe estar compuesta por 125 unidades, de las cuales, se aceptan 3 como no conformes.

Tamaño del lote		Calidad Límite (CL)								
		0,5	0,8	1,25	2	3,15	5	8	12,5	20
16 a 25	n	25	25	25	25	25	17	13	9	16
	Ac	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26 a 50	n	50	50	50	50	50	28	22	15	10
	Ac	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51 a 90	n	90	90	90	50	44	34	24	16	10
	Ac	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91 a 150	n	150	150	90	80	55	38	26	18	13
	Ac	0	0	0	0	0	0	0	0	0
151 a 280	n	200	170	130	95	65	42	28	20	20
	Ac	0	0	0	0	0	0	0	0	0
281 a 500	n	280	220	155	105	80	50	32	32	20
	Ac	0	0	0	0	0	0	0	1	1
501 a 1200	n	380	255	170	125	125	80	50	32	32
	Ac	0	0	0	0	1	1	1	1	3
1201 a 3200	n	430	280	200	200	125	125	80	50	50
	Ac	0	0	0	1	1	3	3	3	5
3201 a 10000	n	450	315	315	200	200	200	125	80	80
	Ac	0	0	1	1	3	5	10	10	18
10001 a 35000	n	500	500	315	315	315	315	200	125	125
	Ac	0	1	1	3	5	10	10	10	18
35001 a 150000	n	800	500	500	500	500	315	200	200	125
	Ac	1	1	3	5	10	18	18	18	18

Tabla 6.4.2 Plan de muestreo según ISO 2859-2

De esta forma quedan expuestos los métodos de inspección que deberán ser usados según las necesidades del lote o lotes fabricados y que van a provocar una disminución de las no conformidades por parte de los clientes y, por tanto, un aumento de su satisfacción.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ante la evidencia mostrada de la importancia de un sistema de calidad actualizado y eficiente que produzca una mejora continua en la fabricación de los productos y el aumento de la satisfacción de los clientes que repercuta en la salud de la empresa era vital analizar el sistema de calidad en la verificación de las piezas de este taller de mecanizado.

Cuando se pone como objetivo mejorar algún sistema de calidad es labor primordial conocer el funcionamiento de este y a qué se dedica. Por eso, en primer lugar, se ha dado a conocer tanto la maquinaria de mecanizado existente en la industria, como los equipos con los que se verifican los productos. Se ha analizado si estos y su uso son adecuados. Aunque en este taller se pueden realizar piezas para múltiples funciones, la mayor producción se centra en la fabricación de piezas para decoletaje, en concreto, racores, tuercas y manguitos. Antes de realizar cualquier propuesta de mejora, era necesario conocer a fondo este tipo de piezas, los tipos que existen de cada una de ellas, como se fabrican, verifican o las principales no conformidades que se producen en su fabricación con el fin de erradicarlas lo máximo posible y aumentar su calidad.

Para realizar la primera propuesta se puso el objetivo sobre las máquinas de mecanizado. Las herramientas que poseen estas, debido a las altas exigencias de trabajo se desgastan y ante estrechas tolerancias en las dimensiones de las piezas acaban produciendo piezas no conformes. Para ello, se ha propuesto un plan de análisis de la vida de las herramientas. Cuando se vaya a fabricar un tipo de pieza se puede conocer aproximadamente la vida que va a tener cada herramienta y de forma preventiva ser sustituida por otra para disminuir considerablemente el número de piezas en mal estado. Este plan consiste en un documento que se le entrega al operario junto a la instrucción de fabricación. En el registro se encuentra una tabla con las piezas que debe fabricar cada herramienta según la experiencia del personal de la oficina técnica y la información que proporcionan los proveedores de herramientas. Este papel debe ser completado por el operario con las piezas que finalmente se han fabricado en correctas condiciones. Así, la información se retroalimenta y se podrá ir concretando de forma más precisa la vida de la herramienta en futuras producciones.

En algunas ocasiones, las piezas son fabricadas en correctas condiciones, pero los equipos de verificación de piezas no son los correctos o no se encuentran bien calibrados dando medidas fuera de tolerancias. Esto puede provocar que se descarten piezas que podrían ser válidas. Otras veces, las piezas están fuera de tolerancias, pero ante el error cometido con los útiles de verificación, se dan por buenas, introduciendo en el lote piezas erróneas. Esto producirá que los clientes devuelvan al taller piezas no conformes y disminuirá la satisfacción con la producción. Por estos motivos, se cree conveniente analizar los equipos de verificación. Se ha identificado todos los equipos existentes en la empresa y según su ubicación y empleo se ha analizado si la calibración que se les estaba realizando hasta la fecha era la óptima desde el punto de vista tanto de la calidad de la

producción como económico. En la tabla 7.1 se muestra una comparativa entre lo establecido anteriormente y la propuesta realizada.

Equipos	Procedimiento actual	Propuesta
Pie de rey (tipo A)	Calibración interna anual	Calibración interna semestral
Pie de rey (tipo B)	Calibración interna anual	Calibración interna anual con algunas revisiones cada 6 meses
Micrómetro	Calibración interna anual	Calibración interna semestral
Proyector de perfiles	Calibración externa cada 5 años	Verificación interna cada año y calibración externa cada 5 años
Calibres pasa-no pasa	Verificación interna anual	Mejora en las condiciones de almacenamiento. Verificación interna cada año y calibración externa cada 5 años.
Reloj comparador	Calibración interna anual	Se mantiene igual
Durómetro	Calibración externa cada 10 años	Se mantiene igual
Rugosímetro	Calibración externa cada 10 años	Se mantiene igual
Brazo tridimensional	Calibración externa cada 5 años	Se mantiene igual
Bloques patrón	Calibración externa cada 10/15 años	Se mantiene igual

Tabla 7.1 Tabla resumen propuesta de calibración de equipos de medición

Durante el estudio de las piezas que se ha realizado en este estudio, se advierte que se producen numerosos errores de medidas en algunas dimensiones como en las roscas o diámetros cuando la mercancía vuelve del proceso de cincado, actividad que es subcontratada. Además, durante su almacenamiento entre la vuelta al taller y el envío al cliente, en las piezas aparecían ciertas manchas que, aunque no era un inconveniente desde el punto de vista funcional, sí que disminuía su estética. Solucionar completamente este problema no es posible. Al ser una actividad sucontratada no se pueden realizar mejoras en el proceso de cincado en sí. Pero si se han realizado propuestas durante este trabajo para disminuir los inconvenientes. Algunas de estas propuestas son previo cincado, para intentar que las piezas adquieran el grosor necesario de zinc y otras post cincado para solucionar algunos problemas surgidos y para evitar la aparición de manchas.

Una vez los productos son fabricados se les realiza una inspección para verificar si lo fabricado cumple las condiciones preestablecidas. Como es entendible, para realizar la inspección sobre un

gran número de piezas, se realiza la inspección sobre una muestra y según los resultados obtenidos se califica el lote como apto o no. Hasta la fecha, el procedimiento de muestreo seguía lo expuesto en la tabla 2.3.1. Esta tabla está basada simplemente en la experiencia. Desde hace años está establecida como la forma de proceder sin analizar si era lo más conveniente para realizar un muestreo. Desde estas líneas se propone aplicar la norma UNE-ISO 2859-1:2012. *“Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos”*. Esta norma proporciona varias formas de actuar según sea la severidad que se requiera en la inspección. Además, influye la importancia que le da el cliente a recibir un número de productos no conformes. Por otra parte, también difiere entre la forma de proceder ante varios lotes de un mismo producto o un único lote. En la manera de realizar el muestreo de inspección hasta ahora, siempre se actuaba de la misma forma, solo influía el tamaño del lote. De esta forma, se realiza una inspección de forma más rica con la que se espera que aumente la satisfacción de los clientes.

Con estas 4 medidas se cumple el principal objetivo de este trabajo que es analizar el sistema de calidad de verificación de un taller de mecanizado. Se espera que con la aplicación de las 4 propuestas aumente la calidad de los productos fabricados por el taller, repercutiendo en un beneficio tanto para la propia empresa como para los clientes y proveedores. Este análisis se ha realizado sobre los 3 tipos de piezas más fabricados, pero las propuestas pueden ser extensibles para la mayoría de las piezas fabricadas. Es posible que para mejorar aún más si cabe este sistema, deberían aplicarse otras propuestas para algunas piezas excepcionales que se fabrican. Debido a que la fabricación de otro tipo de piezas es un hecho más esporádico, este trabajo se ha centrado en los manguitos, tuercas y racores que es en lo que se basa la producción diaria. Por otro lado, sería conveniente realizar un estudio de viabilidad para la implantación de un proceso de cincado propio dentro de la empresa. Así se podría actuar de una forma más sencilla sobre él y disminuir aún más la producción de elementos no conformes que es el fin un sistema de calidad de una empresa de este tipo.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Griful Ponsati, Eulàlia y Canela Campos, Miguel Ángel (2002). *Gestión de la Calidad*.
- [2] Ariza López, F.J. y Rodríguez Avi, J. (2015). *Aplicación de las Normas ISO 2859-1 e ISO 2859-2 en el control posicional de suministros de datos espaciales, aplicación al caso de puntos y líneas*.
- [3] García, J.A. y Torralva M.J. (2014). *Herramientas de corte: Determinación de vida útil en aceros de mediana y alta dureza*.
- [4] Responsable del departamento de calidad “taller de mecanizado”. *Sistema de Gestión de Calidad 2018 “taller de mecanizado”*.
- [5] Guarnido Barrera, Antonio (2015). *Determinación de duración de herramientas de torno bajo diferentes condiciones de corte*.
- [6] Centro Español de Metrología: CEM. <https://www.cem.es/>
- [7] Nakamura-Tome. <http://www.nakamura-tome.co.jp/>
- [8] Leadwell. <https://www.leadwell.com/>
- [9] Schutte. <https://www.schuetten.de/es/>
- [10] Mitutoyo. https://mitutoyo.es/es_es/
- [11] FARO. <http://blog-es.faro.com/>
- [12] De máquinas y herramientas. <https://www.demaquinasyherramientas.com/>
- [13] Planes. <https://ferrospanes.com/>
- [14] Galvanitzats Fies. <https://galvanitzatsfies.cat/>
- [15] Ciclo PDCA. <https://www.pdcahome.com/5202/ciclo-pdca/>
- [16] UNE-ISO 2859-1:2012. *Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos. Parte 1: Planes de muestreo para las inspecciones lote por lote, tabulados según el límite de calidad de aceptación*.
- [17] UNE-ISO 2859-2:2012. *Procedimientos de muestreo para la inspección por atributos. Parte 2: Planes de muestreo para las inspecciones de lotes independientes, tabulados según la calidad límite (CL)*.
- [18] UNE-ISO 1461:1999. *Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados en hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo*.
- [19] UNE-EN ISO 14713-1:2017. *Recubrimientos de zinc. Directrices y recomendaciones para la*

protección frente a la corrosión de las estructuras de hierro y acero. Parte 1: Principios generales de diseño y resistencia a la corrosión.

[20] UNE-EN 12329:2001. *Protección contra la corrosión de los metales. Recubrimientos electrolíticos de zinc sobre hierro o acero.*

[21] UNE-EN ISO 10012:2003. *Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición.*

9 ANEXOS

Equipo	ID	Ubicación	Marca	Nº Serie	Rango	Unidad	Precisión	Calibración	Última Calibración	Certificado	Perioricidad
Brazo Tridimensional	BT-01	Sala de Metrología	FARO	R04-02-16-31578	0-1500	mm	< 0,016mm (Single Point)	FARO	30/05/2016	R04021631578-5302016-1140A	5 años
Durómetro	DR-01	Sala de Metrología	Centaur	2049	0-100	HRC	± 1 HRC	SYMMETRICAL	04/07/2018	60789	10 años
Proyector de Perfiles	PP-01 / N°31	Sala de Metrología	Mitutoyo	40453	0-25 / 0-360	mm / °	0,005mm / 1'	SAICA	27/06/2018	CCD-2971-18	5 años
Bloques Patrón	BPD-01	Armario de Calidad	Mitutoyo	1004371	1,000-60	mm	±0,03µm en 1mm	Mitutoyo	04/08/2010	S10H00261	15 años
Bloques Patrón	BPD-02	Sala de Metrología	Mitutoyo	70131	1,0005-100	mm	±0,03µm en 0,5mm	SYMMETRICAL	16/06/2016	40818	10 años
Rugosímetro	RG-01	Sala de Metrología	Mahr	1121	0-1000	µm	Rz=9,5µm, Ra=3,01µm, RSm=99,88µm	Mahr	26/01/2016	MOO160025	5 años
Pié de Rey	010-058	Taller - Jefe de Taller	Mitutoyo	17101689	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-012	Taller - Operario	Mitutoyo	17101349	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-088	Taller - Máquina Meler	Mitutoyo	117278801	0-150	mm	± 0,01 mm	PERSCHMANN	13/03/2018	N-1615018	Anual
Pié de Rey	010-006	Taller - Especialista	Mitutoyo	60092278	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-008	Taller - Operario	Mitutoyo	15128383	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-009	Taller - Operario	Mitutoyo	15150089	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-083	Taller - Operario	Mitutoyo	15150430	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-071	Taller - Operario	Mitutoyo	15252347	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-007	Taller - Operario	Mitutoyo	60093745	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-019	Taller - Encargado Schutte	Mitutoyo	17101317	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-005	Taller - Operario	Mitutoyo	15150269	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-090	OT - Resp. de OT	Mitutoyo	N/D	0-150	mm	± 0,01 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual

Pié de Rey	010-084	Taller - Preparador	Mitutoyo	18016771	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-085	Taller - Preparador	Mitutoyo	18016776	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-086	Taller - Preparador	Mitutoyo	18016767	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-087	Taller - Afilador	Mitutoyo	18016763	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-082	Taller - Especialista	Mitutoyo	14163834	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-089	Taller - J. Taller	Mitutoyo	N/D	0-150	mm	± 0,01 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-063	Taller - Encargado CNC	Mitutoyo	N/D	0-150	mm	± 0,01 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-001	Taller - Operario	Mitutoyo	N/D	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-002	Taller - Operario	Mitutoyo	N/D	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-004	Taller - Especialista	Mitutoyo	N/D	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-076	Taller - Preparador	Mitutoyo	N/D	0-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-011	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	41205110	0-300	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	008-001	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	N/D	0-600	mm	± 0,01 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey	010-021	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	N/D	0-1000	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey de interiores	011-087	Taller	Holox	DD608611	10-160	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey de interiores	011-089	Taller	Holox	CG605203	10-160	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey de interiores	011-007	Taller	ALCA	844/185	10-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Pié de Rey de interiores	011-009	Taller	ALCA	844/170	28-150	mm	± 0,05 mm	Interna	06/07/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-04	Anual
Micrómetro	023-033	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	16050	25-50	mm	± 0,01 mm	Interna	27/06/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-03	Anual
Micrómetro	023-007	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	46059306	0-25	mm	± 0,01 mm	Interna	27/06/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-03	Anual
Micrómetro	023-024	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	N/D	0-25	mm	± 0,01 mm	Interna	27/06/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-03	Anual
Micrómetro	023-010	Taller	Mitutoyo	7130363	0-25	mm	± 0,01 mm	Interna	27/06/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-03	Anual

Análisis del sistema de calidad para la verificación de piezas en un taller de mecanizado

Micrómetro	023-002	Laboratorio de Metrología	Holox	30530920	25-50	mm	± 0,01 mm	Interna	27/06/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-03	Anual
Micrómetro	023-045	Laboratorio de Metrología	Mahr	296866	50-75	mm	± 0,01 mm	Interna	27/06/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-03	Anual
Micrómetro	023-006	Laboratorio de Metrología	Holox	30572640	25-50	mm	± 0,01 mm	Interna	27/06/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-03	Anual
Micrómetro	020-002	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	44314553	0-25	mm	± 0,01 mm	Interna	27/06/2018	Verificación con BPD-01 e instrucción IT-03	Anual
Micrómetro	023-016	Laboratorio de Metrología	ZIUR TESA	N/D	50-75	mm	± 0,01 mm	Interna	27/06/2018	Verificación con BPD-01, instrucción IT-03	Anual
Reloj comparador	015-017	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	550935	0-10	mm	± 0,001 mm	Interna	10/07/2018	Verificación con BPD-01 y procedimiento BSD 1104	Anual
Reloj comparador	012-002	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	20270	0-10	mm	± 0,01 mm	Interna	10/07/2018	Verificación con BPD-01 y procedimiento BSD 1104	Anual
Reloj comparador	007-002	Taller	Mitutoyo	714969	0-1	mm	± 0,01 mm	Interna	10/07/2018	Verificación con BPD-01 y procedimiento BSD 1104	Anual
Reloj comparador	015-016	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	964131	0-10	mm	± 0,01 mm	Interna	10/07/2018	Verificación con BPD-01 y procedimiento BSD 1104	Anual
Reloj comparador	015-020	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	WAE911	0-10	mm	± 0,01 mm	Interna	10/04/2016	Verificación con BPD-01 y procedimiento BSD 1104	Anual
Reloj comparador	015-019	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	WAE909	0-10	mm	± 0,01 mm	Interna	10/04/2016	Verificación con BPD-01 y procedimiento BSD 1104	Anual
Reloj comparador	015-018	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	WAE905	0-10	mm	± 0,01 mm	Interna	10/07/2018	Verificación con BPD-01 y procedimiento BSD 1104	Anual
Reloj comparador	015-021	Laboratorio de Metrología	Mitutoyo	WAE908	0-10	mm	± 0,01 mm	Interna	10/07/2018	Verificación con BPD-01 y procedimiento BSD 1104	Anual
Reloj comparador	038-008	Laboratorio de Metrología	Storm	10/II	0-10	mm	± 0,01 mm	Interna	10/07/2018	Verificación con BPD-01 y procedimiento BSD 1104	Anual
Reloj comparador	015-004	Laboratorio de Metrología	Borletti		0-10	mm	± 0,01 mm	Interna	10/07/2018	Verificación con BPD-01 y procedimiento BSD 1104	Anual
Maletín de roscas	MR-05	Puesto de prensado	BSD					Interna	21/11/2017	Verificación del estado de conservación. Interna. Reposición	Anual
Calibres P-NP	Ver listado	Laboratorio de metrología	Varios	Ver listado	Ver listado	mm	Ver listado	Interna	20/02/2018	Verificación del estado de conservación y verificación bianual / Reposición	2 años

Tabla 9.1 Lista de equipos de medición

Letra tamaño de la muestra	Tamaño muestra	Límite de Calidad de Aceptación (LCA) en porcentaje de elementos no conformes																
		0,01	0,025	0,04	0,1	0,15	0,25	0,4	0,65	1	1,5	2,5	4	6,5	10	15	25	40
A	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2
B	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3
C	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5
D	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	7
E	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	7	10
F	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	7	10	14
G	32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	7	10	14	21
H	50	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	7	10	14	21	21
J	80	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	7	10	14	21	21	21
K	125	0	0	0	0	0	1	1	2	3	5	7	10	14	21	21	21	21
L	200	0	0	0	0	1	1	2	3	5	7	10	14	21	21	21	21	21
M	315	0	0	0	1	1	2	3	5	7	10	14	21	21	21	21	21	21
N	500	0	0	0	1	2	3	5	7	10	14	21	21	21	21	21	21	21
P	800	0	0	1	2	3	5	7	10	14	21	21	21	21	21	21	21	21
Q	1250	0	1	1	3	5	7	10	14	21	21	21	21	21	21	21	21	21
R	2000	0	1	2	5	7	10	14	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

Tabla 9.2 Plan de muestreo para inspección normal

Análisis del sistema de calidad para la verificación de piezas en un taller de mecanizado

Letra tamaño de la muestra	Tamaño muestra	Límite de Calidad de Aceptación (LCA) en porcentaje de elementos no conformes																
		0,01	0,025	0,04	0,1	0,15	0,25	0,4	0,65	1	1,5	2,5	4	6,5	10	15	25	40
A	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
B	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2
C	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3
D	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5
E	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	8
F	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	8	12
G	32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	8	12	18
H	50	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	8	12	18	18
J	80	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	8	12	18	18	18
K	125	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	8	12	18	18	18	18
L	200	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	8	12	18	18	18	18	18
M	315	0	0	0	1	1	1	2	3	5	8	12	18	18	18	18	18	18
N	500	0	0	0	1	1	2	3	5	8	12	18	18	18	18	18	18	18
P	800	0	0	1	1	2	3	5	8	12	18	18	18	18	18	18	18	18
Q	1250	0	1	1	2	3	5	8	12	18	18	18	18	18	18	18	18	18
R	2000	0	1	1	3	5	8	12	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18

Tabla 9.3 Plan de muestreo para inspección rigurosa

Letra tamaño de la muestra	Tamaño muestra	Límite de Calidad de Aceptación (LCA) en porcentaje de elementos no conformes																
		0,01	0,025	0,04	0,1	0,15	0,25	0,4	0,65	1	1,5	2,5	4	6,5	10	15	25	40
A	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
B	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2
C	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3
D	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5
E	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	6
F	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	6	8
G	13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	6	8	10
H	20	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	6	8	10	10
J	32	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	6	8	10	10	10
K	50	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	6	8	10	10	10	10
L	80	0	0	0	0	1	1	1	2	3	5	6	8	10	10	10	10	10
M	125	0	0	0	1	1	1	2	3	5	6	8	10	10	10	10	10	10
N	200	0	0	0	1	1	2	3	5	6	8	10	10	10	10	10	10	10
P	315	0	0	1	1	2	3	5	6	8	10	10	10	10	10	10	10	10
Q	500	0	0	1	2	3	5	6	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10
R	800	0	0	1	3	5	6	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Tabla 9.4 Plan de muestreo para inspección reducida

Análisis del sistema de calidad para la verificación de piezas en un taller de mecanizado

Letra tamaño de la muestra	Tamaño muestra	Límite de Calidad de Aceptación (LCA) en porcentaje de elementos no conformes																																	
		0,01		0,025		0,04		0,1		0,15		0,25		0,4		0,65		1		1,5		2,5		4		6,5		10		15		25		40	
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re		
A	-	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*	
B	2	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		0	2	0	2	0	3	1	4
																										1	2	1	2	3	4	4	5		
C	3	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		0	2	0	2	0	3	1	4	2	5
																									1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	
D	5	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7
																							1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	
E	8	*		*		*		*		*		*		*		*		*		0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9		
																			1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13			
F	13	*		*		*		*		*		*		*		*		0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11		
																		1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19		
G	20	*		*		*		*		*		*		*		*		0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16
																		1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27
H	32	*		*		*		*		*		*		*		0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16	11	16
																1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27	26	27
J	50	*		*		*		*		*		0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16	11	16	11	16		
												1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27	26	27	26	27		
K	80	*		*		*		*		0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16	11	16	11	16	11	16		
										1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27	26	27	26	27	26	27		
L	125	*		*		*		0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16		
								1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27		
M	200	*		*		*		0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16		
								1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27		
N	315	*		*		*		0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16		
								1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27		
P	500	*		*		0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16		
						1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27		
Q	800	*		0	2	0	2	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16		
				1	2	1	2	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27		
R	1250	*		0	2	0	3	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16	11	16		
				1	2	3	4	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27	26	27		

Tabla 9.5 Plan de muestreo doble para inspección normal

(*) Se recomienda usar el correspondiente plan de muestreo simple

Letra tamaño de la muestra	Tamaño muestra	Límite de Calidad de Aceptación (LCA) en porcentaje de elementos no conformes																																			
		0,01		0,025		0,04		0,1		0,15		0,25		0,4		0,65		1		1,5		2,5		4		6,5		10		15		25		40			
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re				
A	-	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*			
B	2	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*	0	2	0	2	0	2	0	2	0	3	
C	3	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		0	2	0	2	0	2	0	2	0	3	1	4
D	5	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		0	2	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5
E	8	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		0	2	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7
F	13	*		*		*		*		*		*		*		*		*	0	2	0	2	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	6	10	
G	20	*		*		*		*		*		*		*		*	0	2	0	2	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	6	10	9	14	
H	32	*		*		*		*		*		*	0	2	0	2	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	6	10	9	14	9	14			
J	50	*		*		*		*		*	0	2	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	6	10	9	14	9	14	9	14	9	14			
K	80	*		*		*		*	0	2	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	6	10	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14			
L	125	*		*		*		*	0	2	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	6	10	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14			
M	200	*		*		*	0	2	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	6	10	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14			
N	315	*		*		*	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	6	10	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14			
P	500	*		*	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	6	10	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14			
Q	800	*	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	6	10	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14			
R	1250	*	0	2	0	2	1	4	2	5	3	7	6	10	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14	9	14			

Tabla 9.6 Plan de muestreo doble para inspección rigurosa

(*) Se recomienda usar el correspondiente plan de muestreo simple

Análisis del sistema de calidad para la verificación de piezas en un taller de mecanizado

Letra tamaño de la muestra	Tamaño muestra	Límite de Calidad de Aceptación (LCA) en porcentaje de elementos no conformes																																	
		0,01		0,025		0,04		0,1		0,15		0,25		0,4		0,65		1		1,5		2,5		4		6,5		10		15		25		40	
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re		
A	-	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*	
B	-	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*	
C	-	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		*	
D	2	*		*		*		*		*		*		*		*		*		*		0 2		0 2		0 3		0 4		0 4		1 5			
E	3	*		*		*		*		*		*		*		*		*		0 2		0 2		0 3		0 4		0 4		1 5		3 6			
F	5	*		*		*		*		*		*		*		*		0 2		0 2		0 3		0 4		0 4		1 5		2 7		3 8			
G	8	*		*		*		*		*		*		0 2		0 2		0 3		0 4		0 4		1 5		2 7		3 8		3 10		3 10			
H	13	*		*		*		*		*		0 2		0 2		0 3		0 4		1 5		2 7		3 8		3 10		3 10		3 10		3 10			
J	20	*		*		*		*		0 2		0 2		0 3		0 4		1 5		2 7		3 8		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10			
K	32	*		*		*		0 2		0 2		0 3		0 4		1 5		2 7		3 8		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10			
L	50	*		*		*		0 2		0 2		0 3		0 4		1 5		2 7		3 8		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10			
M	80	*		*		*		0 2		0 2		0 3		0 4		1 5		2 7		3 8		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10			
N	125	*		*		*		0 2		0 3		0 4		1 5		2 7		3 8		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10			
P	200	*		0 2		0 3		0 4		0 4		1 5		2 7		3 8		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10			
Q	315	*		0 2		0 4		1 5		2 7		3 8		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10			
R	500	*		0 2		0 4		1 5		2 7		3 8		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10		3 10			

Tabla 9.7 Plan de muestreo doble para inspección reducida

(*) Se recomienda usar el correspondiente plan de muestreo simple

